# técnica.

Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

aeist
associação dos estudantes
instituto superior técnico

# Agradecimento

Queremos dedicar esta edição a todos os professores, investigadores e alunos que direta ou indiretamente contribuíram para o legado que nos foi deixado entre 1925 e 1998, através da escrita de artigos e construção da Revista. Deixamos um agradecimento especial a:

**César Sequeira**
**Maria Augusta Guerreiro Martins**
**Marília Soares de Sá**
**Adriano Miguel Gomes Pacheco**
**Maria Norberta de Pinho**
**Carlos MGS Marques**
**JP Pitta de Oliveira**
**MP de Sá da Costa**
**António PB Oliveira**
**Fernando DS Marquis**
**Jorge MB Fernandes Diniz**
**Carlos AC Faria**
**Maria OSP Caldeira**
**Luis PS Araújo**
**Maria João C Plancha**
**Paulo Sérgio Duque Brito**
**Rui MM Antunes**
**Jorge Augusto Galante Correia de Sequeira**
**Carmen Mireya Rangel**

# Índice


Carta do Presidente 3

Centros de Investigação 4

Bioquímica 8

Avaliação do potencial terapêutico do cloreto de cobre-64 em modelos tridimensionais de cancro da próstata 10

PRISMAP – O Programa Europeu para Produção e Investigação de Radioisótopos Médicos Inovadores 13

Eletrocardiografia Invisível (ECG) em Instalações Sanitárias usando Eletrodos Poliméricos 17

Ciências Básicas 22

Espectroscopia Mesónica Moderna: o Papel Fundamental da Unitariedade 24

Condutores em Bicamada; Diversidade de Estruturas e Propriedades (Novidades no reino dos materiais orgânicos cristalinos: os compostos em Bicamada) 28

Flashes de raios-x e raios gama e a geração de ondas relativistas 31

Mecânica, Engenharia e Ambiente 34

Atual agricultura biológica não permitirá alimentar a Humanidade: viabilidade futura passa pela inovação e pelo recurso a animais 36

Análise da Robustez de Controladores de Voo Incrementais: Estudo do Caso Boeing 747 40

Tecnologias da informação e comunicação 45

Metodologia para Análise da Qualidade do Sono Baseada no Conjunto de Redes Neuronais Convolucionais com Implementação em Dispositivo Portátil Sem Fios 46

Interfaces cérebro-computador com realidade virtual para reabilitação do AVC 50

Dimensionamento de Populações de Algoritmos Evolutivos Celulares 53

Cartoon 55

Loading... 56

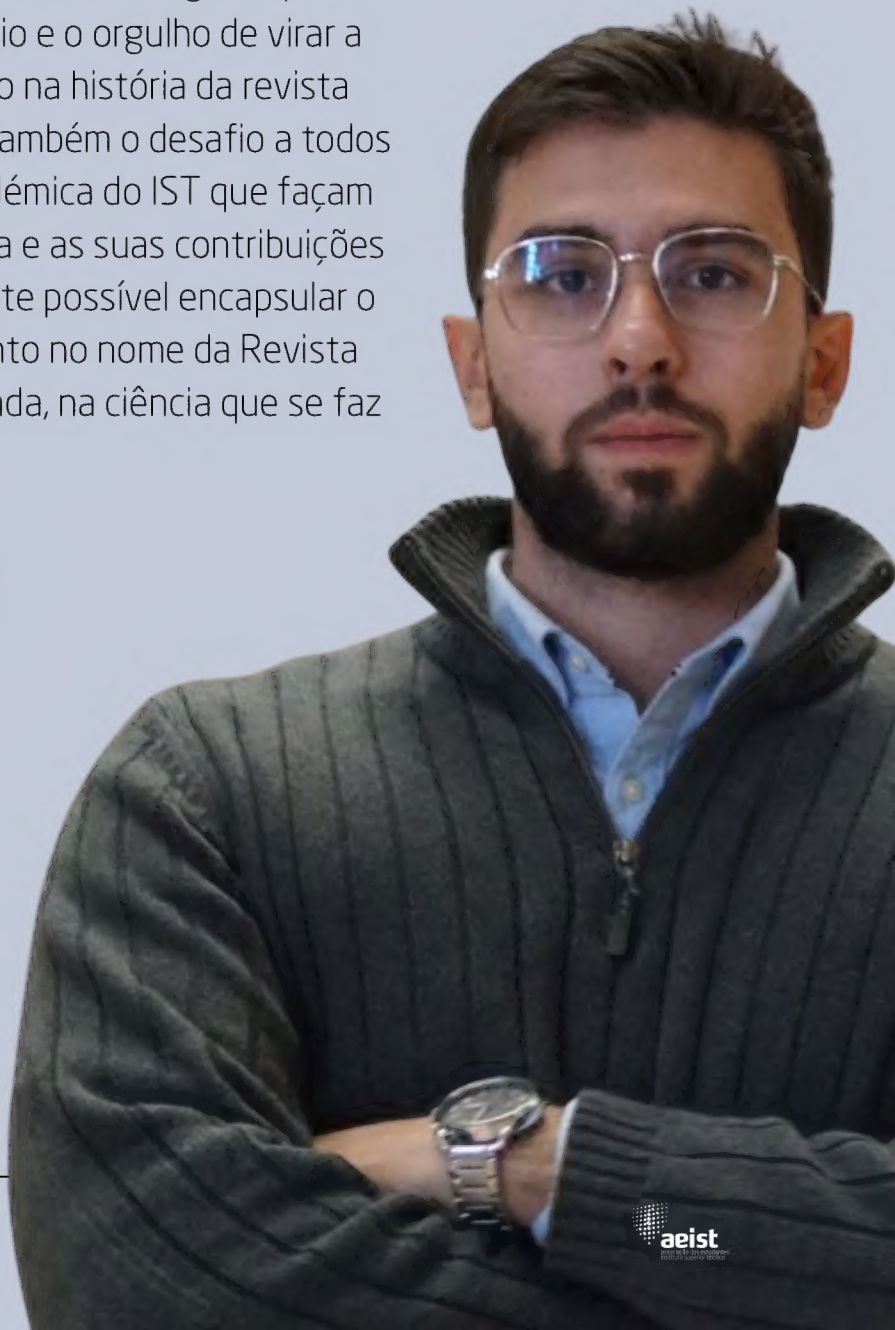
Editorial 62

# Carta do Presidente

## da Associação dos Estudantes do instituto Superior Técnico

A Revista Técnica da AEIST representou e deu a conhecer, desde 1915, nas suas várias edições, a qualidade do material científico produzido no Instituto Superior Técnico pelos seus estudantes, investigadores e docentes. A revista tornou-se então um marco, durante a sua existência até à sua descontinuação, da ligação forte entre os estudantes, a ciência e o tecido empresarial traduzindo uma visão clara e abrangente do panorama científico a todos os interessados. E é com este mesmo desígnio, e honrando o legado que "A Técnica" tem, que temos o privilégio e o orgulho de virar a página e começar um novo capítulo na história da revista com uma nova edição. Lançamos também o desafio a todos os elementos da comunidade académica do IST que façam desta revista sua, com a sua leitura e as suas contribuições para que possamos o mais fielmente possível encapsular o rigor e a excelência embebidos tanto no nome da Revista Técnica como, mais importante ainda, na ciência que se faz no IST.

**Francisco Santos**



# Centros de Investigação

C²TN (Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares) é um centro de investigação de excelência nas áreas das Ciências Radiofarmacêuticas, Proteção contra as Radiações, Sistemas Terrestres, Radioatividade, Património Cultural e Materiais Avançados. Reúne investigadores, professores, estudantes e outros colaboradores, com conhecimentos e competências em temas de ponta e de vanguarda, multidisciplinares e inovadores nas áreas acima mencionadas. As equipas da C²TN operam equipamentos, laboratórios e infra-estruturas, algumas delas únicas em Portugal. Os membros da C²TN têm um longo historial de colaboração com entidades estrangeiras e nacionais no âmbito de atividades de investigação fundamental e aplicada, e de prestação de serviços técnicos avançados.

saiba mais

O CeFEMA - Centro de Física e Engenharia de Materiais Avançados, integra cerca de 50 cientístas dos Departamentos de Física, Engenharia Química e Engenharia Mecânica do Instituto Superior Técnico e do Departamento de Física da Faculdade de Ciências, ambos da Universidade de Lisboa. A investigação abrange três áreas interdisciplinares principais de investigação: Física Fundamental, Física Aplicada, e Engenharia de Materiais e Processos Avançados. Atualmente, o CeFEMA está organizado em cinco Grupos de Investigação, e a investigação está centrada em sete Tópicos de Investigação.

## Tópicos de investigação:

- Fases Topológicas da Matéria;
- Fluidos Nanoestruturados e Matéria Macia;
- Matéria e Processos Não-Equilibrios;
- Conversão e armazenamento de energia;
- Micro e Nanofabricação de materiais avançados;
- Órgãos Artificiais;
- Física da Informação e Tecnologias Quânticas.

saiba mais

## INESC MN

## Microsistemas e Nanotecnologias

O INESC Microsistemas e Nanotecnologias (INESC MN) dedica-se à investigação e desenvolvimento de ponta em áreas tecnológicas estratégicas de micro e nanotecnologias, e à aplicação destas tecnologias a dispositivos eletrónicos, biológicos e biomédicos. A missão do grupo é proporcionar formação avançada a estudantes licenciados, graduados e investigadores a nível de mestrado, doutoramento e pós-doutoramento, funcionando como ponte entre a Escola Técnica de Engenharia (IST, Lisboa) e parceiros industriais em todo o mundo. O INESC MN também oferece transferência de tecnologia tanto para a indústria portuguesa como internacional através de investigação colaborativa, investigação contratual, prototipagem e consultoria

saiba mais

## MARETEC

O MARETEC é um Centro de Ciência e Tecnologia do Ambiente e do Mar do IST, com duas áreas de investigação principais:

- Modelação de sistemas marinhos e terrestres - as principais atividades nesta área estão centradas na modelação numérica aplicada aos problemas ambientais, monitorização e gestão de dados. O MARETEC tem mais de 20 anos de experiência no desenvolvimento e na aplicação de modelos numéricos para áreas costeiras e oceânicas e 10 anos de experiência nas áreas terrestres e ribeirinhas. Está também fortemente envolvido em diferentes programas de monitorização das zonas costeiras em matéria de qualidade da água e produção primária. O sistema MOHID - um código de domínio público com utilizadores em todo o mundo - é um sistema de modelação integrado desenvolvido no MARETEC e inclui dois modelos principais: MOHID Water e MOHID Land;
- Sustentabilidade - nesta área de investigação, o MARETEC visa a criação de uma base teórica e matemática para a avaliação da sustentabilidade através da integração da Termodinâmica, da Ecologia e da Economia. Para o efeito, o MARETEC tem trabalhado na teoria "Dynamic Energy Budget" para o metabolismo dos organismos, na abordagem da exergia útil para a contabilização da energia, na relação entre a energia e o crescimento económico, nos indicadores de responsabilidade de carbon, nos serviços de ecossistema, na contabilidade abrangente e na agricultura sustentável.

saiba mais

O Instituto de Sistemas e Robótica - ISR-Lisboa - é uma instituição de investigação multidisciplinar nas áreas de Robótica e Processamento de Informação, incluindo Teoria de Sistemas e Controlo, Processamento de Sinal, Visão por Computador, Inteligência Artificial e Sistemas Inteligentes e Engenharia Biomédica.

A investigação no ISR-Lisboa abrange uma multiplicidade de tópicos-chave, desde questões teóricas fundamentais às aplicações de métodos e ferramentas de engenharia, até à conceção e análise de sistemas complexos. O ISR-Lisboa está organizado nos 5 grupos/laboratórios de investigação seguintes:

- Visão por computador e Robot;
- Sistemas Dinâmicos e Robótica Oceânica;
- Sistemas Evolutivos e Engenharia Biomédica;
- Grupo de Robots e Sistemas Inteligentes;
- Grupo de Processamento de Sinal e Imagem.

saiba mais

A missão do CERENA (Centro de Recursos Naturais e Ambiente) é desenvolver a investigação ao mais alto nível de excelência relacionada com a utilização sustentável dos recursos naturais, incluindo a energia, bem como o seu impacto no ambiente. O CERENA utiliza uma abordagem simultaneamente integradora, multidisciplinar e multi-escala, desde o nível molecular até à escala planetária, onde investigadores de diferentes campos científicos - terra, química e engenharia de materiais - convergem para os mesmos objetivos.

A natureza multidisciplinar da equipa de investigação do CERENA garante as sinergias para enfrentar os mais exigentes desafios sociais atuais e contribuir para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável, nomeadamente assegurar uma energia limpa e acessível (SDG7), promover o crescimento económico (SDG8), a industrialização, inovações e infra-estruturas (SDG9), para reforçar os esforços de proteção e salvaguarda do património cultural e natural mundial (SDG11), para assegurar o consumo e produção responsáveis (SDG12), para combater as alterações climáticas e os seus impactos (SDG13), para promover a utilização sustentável dos recursos da terra (SDG15).

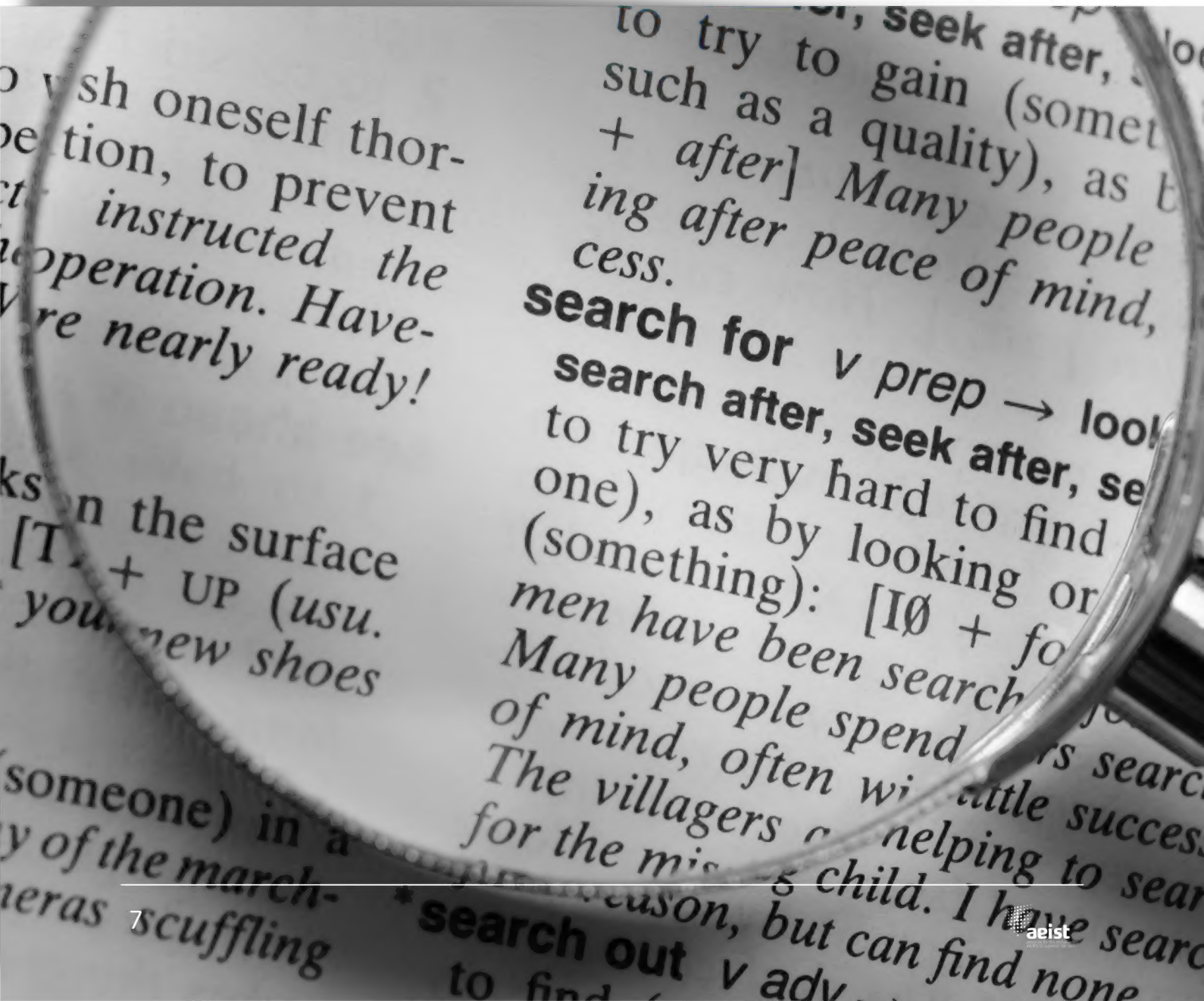
Formação avançada e iniciação à investigação, internacionalização, colaboração com a indústria na procura de soluções de engenharia mais sustentáveis, eco-inovadoras e competitivas numa perspetiva de economia circular, e promoção da cultura científica são os nossos objetivos.

saiba mais

A visão da idMEC (Instituto de Engenharia Mecânica) é estar entre os mais renomados centros internacionais de investigação em engenharia mecânica, em tópicos selecionados no âmbito da energia, tecnologias de transporte, e aeronáutica.

O papel do idMEC é criar novos conhecimentos científicos utilizando a investigação fundamental, desenvolver conhecimentos e competências na investigação aplicada, a fim de se envolver na educação avançada de jovens investigadores e engenheiros, e na divulgação científica de conhecimentos e know-how (através de publicações, conferências, workshops e reuniões científicas), promovendo assim o intercâmbio entre indivíduos e instituições e fomentando tanto a investigação, a engenharia como a educação.

saiba mais



# Bioquimica

aeist
associação dos estudantes
instituto superior técnico

# Ciência Pela Lente

## Microscópio de ADN

Cada ponto representa uma célula, com cores que indicam quais as sequências de ADN que contêm. Um algoritmo escolhe as moléculas, analisando os produtos de uma reação química, e identificando a sua posição relativa.

Créditos: Joshua Weinstein/ Broad Institute

# Avaliação do potencial terapêutico do cloreto de cobre-64 em modelos tridimensionais de cancro da próstata

Catarina Pinto, Joana Guerreiro e Filipa Mendes

C²TN - Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares e
DECN - Departamento de Engenharia e Ciências Nucleares,
Campus Tecnológico e Nuclear, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

O cancro da próstata é dos tumores com maior incidência entre a população do sexo masculino. Quando detetado numa fase precoce, e com o avanço dos tratamentos disponíveis, o prognóstico dos pacientes é geralmente muito positivo. No entanto, quando a doença se encontra já num estado mais avançado, os tratamentos existentes podem não ser suficientes. Este panorama justifica a necessidade de investigação de novos métodos de diagnóstico que permitam a deteção precoce da doença, bem como de novas terapias mais eficazes. Os radiofármacos, medicamentos com um elemento radioativo (radioisótopo) na sua composição, surgem como possível resposta a esta necessidade, uma vez que alguns radioisótopos podem ser utilizados em simultâneo como agentes de diagnóstico e agentes terapêuticos - na chamada abordagem teranóstica – como acontece com o cobre-64 (Figura 1).

O cobre-64 é um radioisótopo que decai através da emissão de positrões (partículas β+), podendo ser utilizado como agente de imagem para a tomografia de emissão de positrões (PET). Simultaneamente, decai também através da emissão de partículas β- e eletrões Auger, tendo o potencial de provocar danos celulares[1]. Para além destas características, vários estudos indicam que o cobre está envolvido no processo de desenvolvimento e crescimento de neoplasias, acumulando-se em vários tipos de tumores, incluindo os da próstata[2].

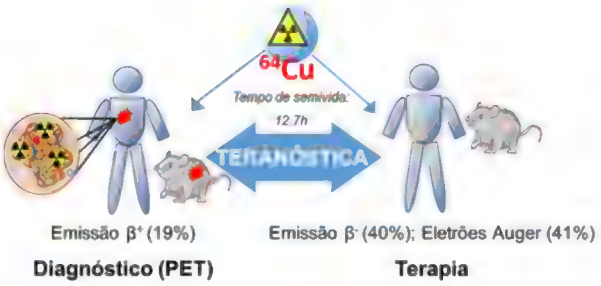



**Figura 1.** Potencial do cobre-64 como agente teranóstico.

Num trabalho anterior, a equipa de investigação do grupo de Ciências Radiofarmacêuticas do Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares (C²TN) do IST estudou o cloreto de cobre-64, que tem sido descrito como promissor para a deteção de tumores da próstata[3]. Em colaboração com a equipa do Doutor Antero Abrunhosa do Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde (ICNAS) da Universidade de Coimbra que produz este radioisótopo, demonstrámos que a captação de cobre-64 era superior em linhas tumorais de cancro da próstata, comparativamente a linha celular não tumoral deste órgão. Adicionalmente verificámos que os iões de cobre-64 conseguiam provocar danos no material genético e na própria célula tumoral. Em paralelo, detetámos menos danos nas células da linha celular não tumoral, demonstrando o potencial deste composto para afetar especificamente as células de cancro, poupando os tecidos saudáveis.

Embora os resultados obtidos tenham sido promissores, todo o estudo foi realizado num modelo pré-clínico com um valor preditivo limitado, isto é, linhas celulares cultivadas em

monocamada. O modelo da monocamada, em que as células crescem aderentes a uma superfície de plástico, convencionalmente utilizado na maioria dos estudos pré-clínicos, é incapaz de replicar algumas das características observadas em tecidos in vivo principalmente devido a diferenças de penetração dos compostos e a diferentes mecanismos de resistência das células[4].

Para colmatar algumas das limitações deste modelo celular mais simples, têm vindo a ser desenvolvidos novos modelos celulares que conseguem replicar melhor o que é observado in vivo. Um desses modelos são os esferoides tumorais multicelulares, em que células de linhas celulares tumorais são forçadas a crescer num sistema tridimensional, restabelecendo algumas das propriedades morfológicas e funcionais observadas em tumores in vivo, bem como a presença de células estaminais cancerígenas (CEC)[5]. As CEC correspondem a uma pequena população de células tumorais que possuem a capacidade de regenerar o tumor, pelas suas propriedades de se auto-replicarem e diferenciarem, sendo mais resistentes às terapias convencionais e estando associadas ao processo de formação de metástases e ressurgimento de tumores.

O estudo aqui apresentado teve como objetivo a avaliação detalhada do potencial terapêutico do cloreto de cobre-64 em modelos tridimensionais, os esferoides, de linhas celulares de cancro da próstata, designadamente os modelos 22RV1, DU145 e LNCaP. Este trabalho é parte integrante do projeto de doutoramento em Engenharia Biomédica de Catarina Pinto e foi apresentado na conferência "NOVA Biophysica" (vencedor de melhor poster da conferência), no 1° workshop internacional de "Radiobiology of Molecular Radiotherapy" e publicado na revista Frontiers in Molecular

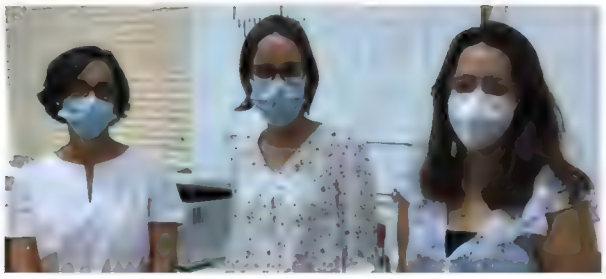


**Figura 2.** Equipa de investigação do C²TN composta por Filipa Mendes, Joana Guerreiro e Catarina Pinto

Biosciences[6]. Quando se utilizam esferoides para avaliação do potencial terapêutico de um novo composto, um dos parâmetros mais relevantes é o seu efeito no crescimento destes modelos. Assim, o primeiro passo foi expor os esferoides ao cloreto de cobre-64 e seguir o seu crescimento ao longo de vários dias.

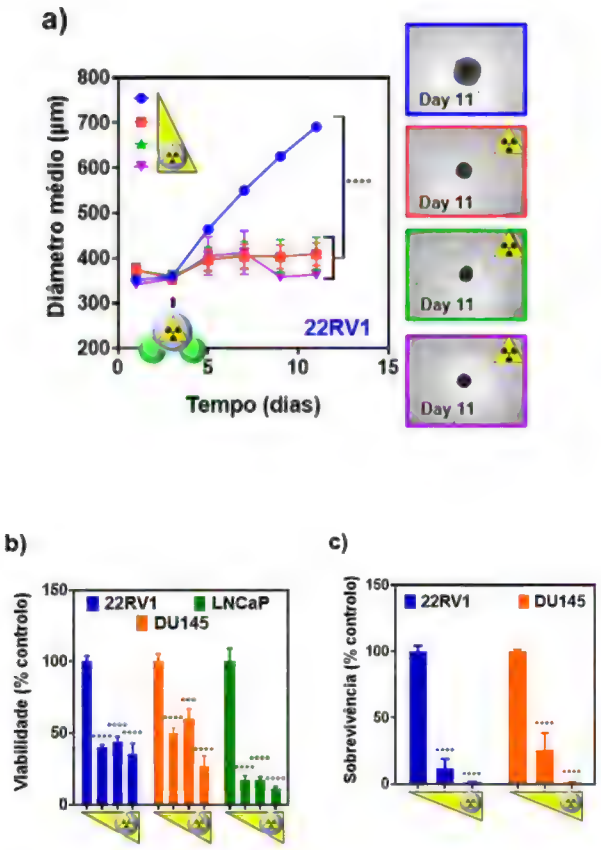



**Figura 3.** Efeito da exposição o cloreto de cobre-64 esferoides de cancro da próstata: a) crescimento de esferoides 22RV1; b) viabilidade de esferoides 22RV2, DU145 e LNCaP e c) sobrevivência de esferoides 22RV1 e LNCaP.

Observámos que o crescimento dos esferoides das três linhas celulares de cancro de próstata utilizadas foi afetado após incubação com o radioisótopo, sendo significativamente inferior ao crescimento dos esferoides em condições controlo (Figura 3a).

A viabilidade celular e a sobrevivência (capacidade das células se multiplicarem) foram também avaliadas após incubação dos esferoides com o cloreto de cobre-64 (Figura 3b e c). Os resultados demonstraram que a viabilidade e sobrevivência dos esferoides incubados com o radioisótopo foram significativamente afetadas, e que os esferoides DU145 foram os menos afetados pois apresentaram uma menor diminuição da viabilidade e maior capacidade de sobrevivência.

Em colaboração com a Professora Claúdia Lobato da Silva e com a estudante de doutoramento Sara Bucar do grupo de investigação de Engenharia de Células Estaminais do Instituto de Bioengenharia e Biociências (iBB) do IST, avaliámos também a presença de CEC nos esferoides das três linhas celulares. Verificámos por citometria de fluxo que a população de células com características semelhantes a CEC era maior nos esferoides de DU145 e menor nos esferoides de LNCaP, sendo interessante realçar que a linha celular com maior população de células CEC foi a que demonstrou ter uma maior resistência ao cobre-64, a DU145.

Em resumo, este estudo fortaleceu o potencial do cobre-64 como agente de teranóstica para o cancro da próstata, aproximando-nos de uma melhor compreensão do modo de ação do cobre-64 no tratamento deste tipo de cancro.

## Referências

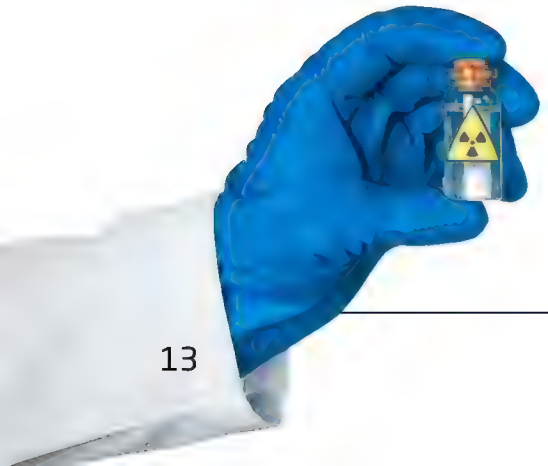

1. Boschi,A. et al. "The emerging role of copper-64 radiopharmaceuticals as cancer theranostics" Drug Discovery Today vol 23 1489–1501 (2018)
2. Paparo,F et al "Diagnostic value of retrospectively fused 64CuCl2 PET/MRI in biochemical relapse of prostate cancer: comparison with 18F-Choline PET/MRI, 64CuCl2 PET/CT, 18F-Choline PET/CT, and mpMRI" Abdom. Radiol (2020).
3. Guerreiro,J F et al. "Radiobiological characterization of 64CuCl2 as a simple tool for prostate cancer theranostics" Molecules 23, (2018)
4. Kijanska,M. & Kelm,J. "In vitro 3D Spheroids and Microtissues. ATP-based Cell Viability and Toxicity Assays" Assay Guid Man 1–16 (2004)
5. Ishiguro,T et al. "Tumor-derived spheroids Relevance to cancer stem cells and clinical applications" Cancer Sci 108, 283–289 (2017)
6. Pinto,C I G et al "Copper-64 Chloride Exhibits Therapeutic Potential in Three-Dimensional Cellular Models of Prostate Cancer" Front. Mol. Biosci. 7, (2020)

# PRISMAP - O Programa Europeu para Produção e Investigação de Radioisótopos Médicos Inovadores

António Paulo,* António Pereira Gonçalves, João D. G. Correia, Lurdes Gano, Maria Paula Cabral Campello

$C^2$TN, DECN, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Campus Tecnológico e Nuclear, 2695-066 Bobadela LRS, Portugal, *e-mail: apaulo@ctn.tecnico.ulisboa.pt

A imagiologia molecular e a terapia com radioisótopos são utilizadas em medicina nuclear para o diagnóstico mais preciso de diferentes doenças e/ou para o seu tratamento mais eficaz e personalizado, em particular no caso do cancro disseminado. Contudo, a implementação destas modalidades é fortemente condicionada pelas dificuldades inerentes à produção e fornecimento regular, a nível europeu, de radioisótopos com interesse clínico. O projeto PRISMAP ("The European medical isotope programme: Production of high purity isotopes by mass separation"), [1] aprovado recentemente e que conta com a participação de investigadores do IST, pretende colmatar esta lacuna e abrir novas perspetivas para a produção e utilização de radioisótopos em medicina nuclear. Neste artigo é feita uma descrição sumária dos principais objetivos e desafios do PRISMAP, assim como da contribuição da equipa do IST. Em medicina nuclear, uma substância radioativa (designada como radiofármaco) é administrada ao doente, usualmente por via intravenosa, distribuindo-se no organismo em função das suas propriedades físico-químicas e biológicas e acumulando-se em diferentes órgãos ou tecidos através de interações com alvos moleculares específicos.



Os radiofármacos podem ser utilizados em diagnóstico ou terapia, o que é determinado pelas propriedades do radioisótopo presente na sua composição.

O uso de radiofármacos em diagnóstico envolve a aquisição de imagens (SPECT ou PET)[2] através da deteção de radiação penetrante (fotões $\gamma$) emitida durante o decaimento do radioisótopo, recorrendo a detetores externos colocados em torno do corpo do doente (Figura 1).[3] As aplicações terapêuticas baseiam-se na utilização de radiofármacos que emitem partículas carregadas ($\alpha$ ou $\beta$-), as quais depositam a sua energia nos tecidos que atravessam causando efeitos letais nas células que irradiam. As partículas $\alpha$ correspondem a núcleos de hélio; as partículas $\beta$- são eletrões altamente energéticos ejetados diretamente do núcleo durante o processo de decaimento. A deposição da energia destas partículas ocorre em percursos de alguns micrómetros a alguns milímetros, relativamente ao local onde ocorre o decaimento, que podem ser da ordem do diâmetro de uma célula ou do tamanho das metástases tumorais. Por esta razão, as partículas emitidas pelos radiofármacos causam danos essencialmente nas células mais próximas do local onde ocorre o decaimento do respetivo radioisótopo, o que justifica o sucesso dos radiofármacos no tratamento de alguns cancros com base na chamada Terapia Dirigida com Radionuclídeos (TRNT).[4,5]

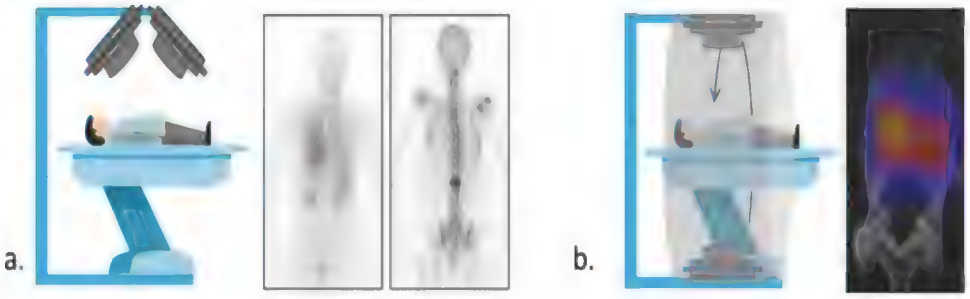



**Figura 1.** Representação esquemática da aquisição de imagens por SPECT (a) ou PET (b) após administração de um radiofármaco a um paciente.

Desde a descoberta da radioatividade por Henri Becquerel no final do século XIX, foi possível produzir em laboratório mais de 3.000 radioisótopos. Contudo, apenas um número reduzido tem aplicação médica. Atualmente, os radioisótopos em uso clínico são aplicados essencialmente para obter imagens PET ou SPECT em exames de diagnóstico mas o interesse médico da TRNT tem aumentado significativamente nos últimos anos. É de salientar a aprovação recente do radiofármaco Luthatera® para tratamento do cancro da próstata avançado. [6] Apesar destes progressos, o desenvolvimento de novos radiofármacos é dificultado pelo acesso limitado aos radioisótopos, nomeadamente durante as etapas de investigação que envolvem estudos pré-clínicos. O projeto PRISMAP – o programa europeu para produção e investigação de isótopos médicos – pretende contribuir para ultrapassar estas dificuldades através do desenvolvimento de métodos inovadores para produção e purificação de radioisótopos médicos. O PRISMAP é coordenado pelo CERN,[7] sendo a equipa de investigação liderada pelo físico Thierry Stora. O projeto envolve 23 instituições europeias provenientes de 13 países, incluindo o IST. No consórcio estão envolvidas infraestruturas europeias de referência ao nível da produção de radioisótopos, instituições líderes em investigação biomédica, hospitais empenhados na translação clínica de radioisótopos inovadores para aplicações de diagnóstico e/ou terapia e parceiros industriais.

## Produção dos radioisótopos

Os isótopos radioativos usados em medicina nuclear são isótopos artificiais que não existem na natureza, sendo produzidos em laboratório através de reações nucleares. As duas principais vias para a sua produção incluem a irradiação de alvos adequados: i) com neutrões num reator nuclear; ii) com protões ou partículas a num acelerador de partículas. A energia dos aceleradores de partículas condiciona quais os radioisótopos que se podem produzir neste tipo de infraestrutura. Atualmente, existem aceleradores circulares (designados como ciclotrões) de energia relativamente baixa (tipicamente 18 MeV) instalados em inúmeros hospitais europeus. No caso de Portugal, encontram-se instalados 3 ciclotrões deste tipo, dois em Coimbra e outro no Porto. Tratam-se de ciclotrões que produzem essencialmente radioisótopos já aprovados para uso clínico em diagnóstico por imagiologia PET, sendo importante dispor de aceleradores de maior energia para produzir radioisótopos ainda não disponíveis de forma comercial, em particular para TRNT.

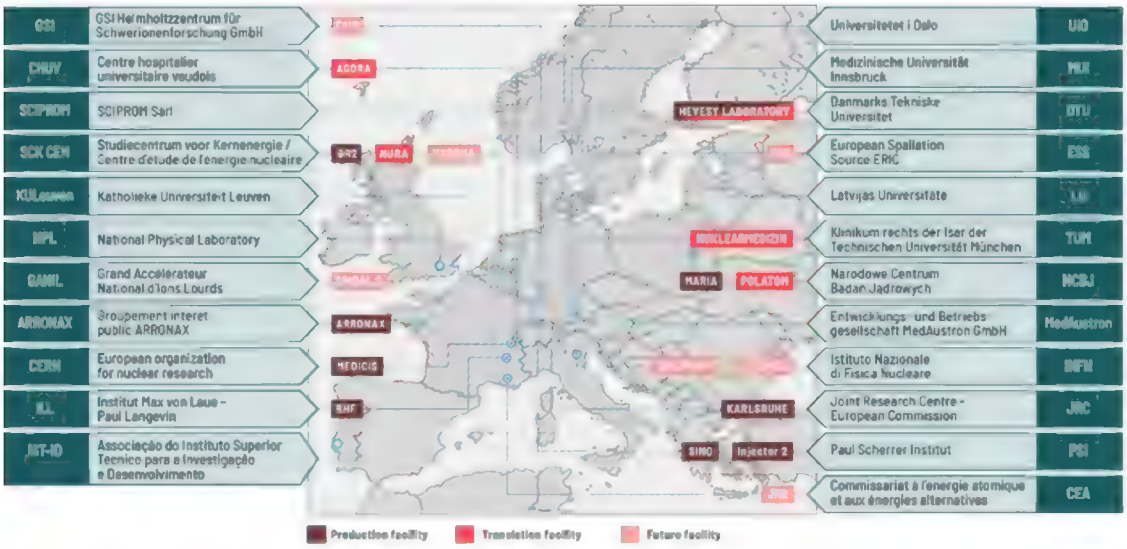



**Figura 2.** Mapa da Europa com os diferentes parceiros do consórcio PRISMAP, sendo indicadas as infraestruturas envolvidas na produção de radioisótopos e as instituições envolvidas em investigação biomédica. ©SCIPROM 2021

Para este efeito, o PRISMAP congrega uma rede de infraestruturas europeias, líderes a nível mundial, que inclui reatores nucleares, aceleradores de média e elevada energia e laboratórios de radioquímica (Figuras 2 e 3).

## Purificação dos radioisótopos

Na produção de radioisótopos para medicina nuclear há que ultrapassar diferentes desafios, nomeadamente o da formação simultânea de radioisótopos indesejados, cuja presença afeta a qualidade dos radiofármacos. A presença desses contaminantes poderá provocar efeitos adversos no doente para além de dificultar a gestão dos resíduos radioativos em meio hospitalar. Para ultrapassar este problema é necessário desenvolver técnicas de purificação que permitam obter radioisótopos com uma pureza elevada, compatível com a sua utilização em medicina. Neste domínio, o PRISMAP propõe abordagens inovadoras para purificação de radioisótopos, baseadas em técnicas de separação de massa já implementadas na infraestrutura CERN MEDICIS para a separação física dos diferentes isótopos de um dado elemento químico (Figura 3).

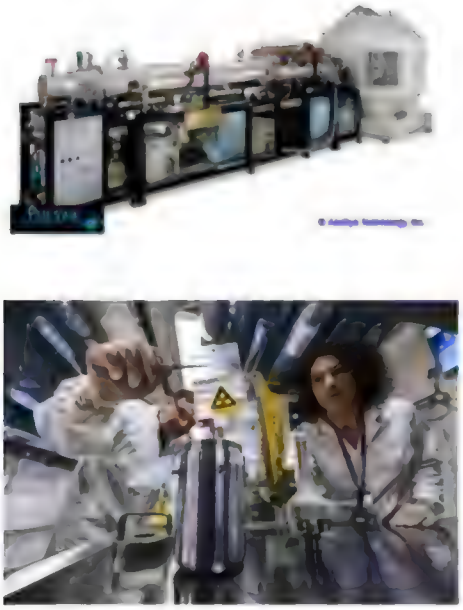


**Figura 3.** Exemplo de um acelerador linear para produção de radioisótopos médicos (cima) e imagem da recolha de um radioisótopo médico na infraestrutura CERN MEDICIS após purificação por técnicas de separação de massa (baixo).

## Contribuição da equipa do IST

A equipa portuguesa inclui os investigadores António Paulo, António Pereira Gonçalves, João Galamba Correia e as investigadoras Lurdes Gano e Maria Paula Cabral Campello do Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares ($C^2TN$) do IST. Esta Unidade de Investigação contribuirá cientificamente para o consórcio PRISMAP, a dois níveis: i) preparação de novos materiais nanoestruturados, baseados em compostos de urânio, úteis para serem usados como alvos de espalação para a produção de radioisótopos médicos inovadores; ii) síntese e avaliação pré-clínica de novas moléculas ou nanopartículas marcadas com radioisótopos pouco explorados, tendo como objetivo introduzir novos radiofármacos para aplicações de Imagiologia e Radioterapia Molecular, em particular para o diagnóstico, estadiamento e tratamento do cancro.

## Referências


[1] https://www.prismap.eu.

[2] SPECT é o acrónimo de Tomografia Computorizada de Emissão de Fotão Único (do inglês "Single Photon Emission Computed Tomography"); PET é o acrónimo de Tomografia de Emissão de Positrão (do inglês "Positron Emission Tomography").

[3] M.L. James, S.S. Gambhir, A molecular imaging primer: Modalities, imaging agents, and applications, Physiological Reviews. 92 (2012) https://doi.org/10.1152/physrev.00049.2010.

[4] G. Sgouros, L. Bodei, M.R. McDevitt, J.R. Nedrow, Radiopharmaceutical therapy in cancer: clinical advances and challenges, Nature Reviews Drug Discovery 19 (2020). https://doi.org/10.1038/s41573-020-0073-9.

[5] TRNT é o acrónimo de "Targeted Radionuclide Therapy"

[6] https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-new-treatment-certain-digestive-tract-cancers

[7] O CERN é a "Organização Europeia para a Investigação Nuclear" (o acrónimo vem da antiga designação desta organização em francês Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) Dispõe do maior acelerador de partículas do mundo e foi um dos primeiros empreendimentos conjuntos da Europa. Presentemente, o CERN tem 21 estados membros, incluindo Portugal


# Agradecimentos


A equipa portuguesa inclui os investigadores António Paulo, António Pereira Gonçalves, João Galamba Correia e as investigadoras Lurdes Gano e Maria Paula Cabral Campello do Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares ($C^2TN$) do IST. Esta Unidade de Investigação contribuirá cientificamente para o consórcio PRISMAP, a dois níveis: i) preparação de novos materiais nanoestruturados, baseados em compostos de urânio, úteis para serem usados como alvos de espalação para a produção de radioisótopos médicos inovadores; ii) síntese e avaliação pré-clínica de novas moléculas ou nanopartículas marcadas com radioisótopos pouco explorados, tendo como objetivo introduzir novos radiofármacos para aplicações de Imagiologia e Radioterapia Molecular, em particular para o diagnóstico, estadiamento e tratamento do cancro.

# ELETROCARDIOGRAFIA INVISÍVEL (ECG) EM INSTALAÇÕES SANITÁRIAS USANDO ELETRODOS POLIMÉRICOS

Aline dos Santos Silva1*, Hugo Plácido da Silva2 1 FEUP - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, R. Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto. 2 IT - Instituto de Telecomunicações, IST - Instituto Superior Técnico, Torre Norte - Piso 10, Av. Rovisco Pais, 1049- 001 Lisboa. E-mail: hsilva@lx.it.pt * Autor para correspondência: Aline dos Santos Silva, up201509292@up.pt

## Resumo

Ao longo dos anos têm sido propostos diversos dispositivos de uso pessoal para auto-avaliação cardiovascular, com evidências crescentes que demonstram a sua eficácia na deteção de patologias que, de outra forma, não seriam percebidas através de exames de rotina padrão. Em particular, a Eletrocardiografia (ECG) tem-se mostrado uma ferramenta importante para esse fim. No entanto, estes dispositivos têm limitações conhecidas, as principais são a vida útil da bateria e o abandono. Para ultrapassar estes problemas de forma eficaz, são necessárias novas soluções, o que recentemente abriu o caminho para abordagens de deteção "invisíveis" (também conhecidas como "off-the-person"). Neste artigo, descrevemos o projeto e a avaliação experimental de um sistema de monitorização cardiovascular para uso residencial, baseado em ECG invisível. Para o efeito, foi proposto um novo projeto de sensor, explorados novos materiais, e foi criado um sistema de coleta de dados de prova de conceito na forma de um tampo de vaso sanitário. Esta abordagem permite a realização de medições de ECG como uma extensão do uso regular das instalações sanitárias, sem a necessidade de dispositivos aplicados directamente no corpo. Para avaliar a abordagem proposta, foi realizado um estudo experimental com o nosso sistema e um equipamento de referência, envolvendo 10 indivíduos saudáveis. Para a aquisição dos sinais de ECG no tampo do vaso sanitário, foram produzidos e testados elétrodos poliméricos com diferentes texturas. De acordo com os resultados obtidos, algumas das texturas não permitiram a aquisição de sinais em todos os sujeitos. Uma textura piramidal apresentou os melhores resultados, no que diz respeito à frequência cardíaca e morfologia da forma de onda do ECG. Para esta textura, que mostrou 0% de perda de sinal, a diferença média da frequência cardíaca entre o dispositivo de referência e o experimental foi de 1.8 ± 4.7 batimentos por minuto (BPM). Em termos de morfologia de onda de ECG, os melhores casos apresentam coeficiente de correlação de Pearson acima de 0.99.

**Palavras-chave:**
Invisíveis, Off-the-Person, Eletrocardiografia, Telemedicina.

## 1. Abordagem proposta

### 1.1. Visão geral dos materiais

Um componente central do nosso trabalho é a interface com o corpo, baseada em materiais poliméricos capazes de serem usados como elétrodos. As suas propriedades condutoras foram um fator importante, levando-se em consideração que numa primeira fase os elétrodos precisavam ser produzidos por técnicas de impressão 3D convencionais, nas quais parâmetros como temperatura e velocidade de impressão afetam a condutividade. Foram identificados três tipos específicos de polímeros, nomeadamente: Electrifi (Multi3D, LLC, Cary, NC, EUA) (resistividade de 0,006 Ω.cm), ProtoPasta CDP1 (ProtoPlant Inc., Vancouver, WA, EUA) (resistividade entre 30 Ω.cm e 115 Ω.cm), e filamento de grafeno condutor Black

Magic 3D (Graphene Laboratories Inc., Ronkonkoma, NY, EUA) (resistividade de 0,6 Ω.cm).

O material Multi3D foi descartado devido ao custo elevado, e por apresentar uma consistência pastosa que faz com que a peça perca a forma com muita facilidade, apresentando mesmo um desgaste significativo no contato normal com a pele, sendo por isso inadequado para a aplicação pretendida. O filamento condutor de grafeno também foi descartado devido ao custo elevado. Por outro lado, o material Proto-Pasta apresentou propriedades mecânicas semelhantes às dos filamentos de PLA (ácido polilático), sendo, portanto, o material selecionado.

### 1.2. Textura do Elétrodo

Na aquisição de dados de ECG com os sensores integrados em objetos de uso diário, o contato elétrico adequado entre a pele do sujeito e o elétrodo pode depender de barreiras naturais, como pelos corporais [1]. Este fator é particularmente relevante no contexto do nosso trabalho, no qual o sensor é aplicado nas pernas. Para resolver esse problema, na nossa abordagem, criámos e testámos elétrodos com diferentes texturas para determinar quais (caso existam) teriam um desempenho superior. Testamos uma textura plana, preferencial para preservar a geometria clássica do assento, e também texturas sinusoidal, trapezoidal e piramidal, destinadas a superar a barreira dos pêlos corporais. As diferentes texturas consideradas estão representadas na Figura 1.

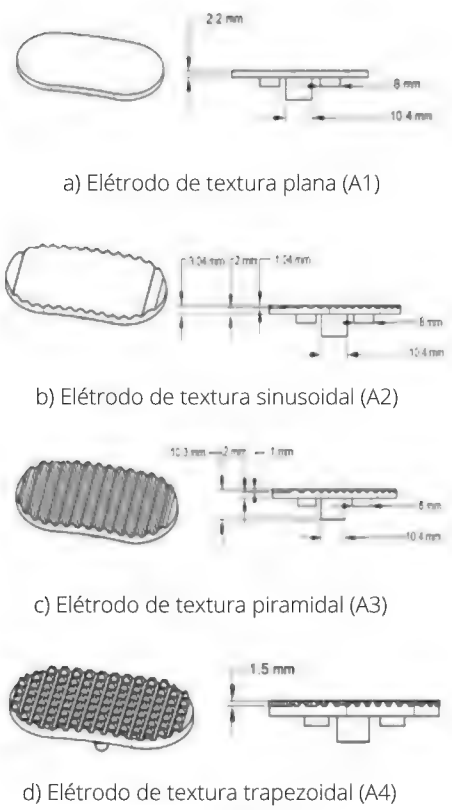



**Figura 1.** Texturas de elétrodos consideradas para a implementação da nossa abordagem [2].

## 2. Metodologia

Para testar a abordagem proposta, foi criado um protótipo, no qual os elétrodos foram embutidos em um assento de sanita pronto para uso (OWCO TAURUS) como quatro pares de almofadas laterais, para a aquisição do sinal de ECG. Cada par de almofadas corresponde a uma das texturas descritas na Seção 1.2 e a ligação elétrica ao sensor e módulo de aquisição localizado na parte traseira é realizada por meio de um fio fundido. Por não afetar o comportamento do sensor e dos elétrodos, o sistema de aquisição de dados (ou seja, a partir da saída do sensor), é baseado na plataforma de hardware BITalino (PLUX, SA, Lisboa, Portugal) [3], que foi validado cientificamente em trabalhos anteriores [4].

Com esta configuração, o assento do vaso sanitário transmite os sinais adquiridos via Bluetooth para um recetor (ou seja, um computador ou smartphone). O sinal de ECG é amplificado no domínio analógica com um ganho de 11000 e filtrado com um filtro passa-banda com banda passante [0,5; 40] Hz, limitando a banda de sinal à frequência típica de ECG conhecida como "de monitor", chegando ao recetor como dados brutos. A aquisição é realizada com frequência de amostragem de 1 kHz e transmitida de acordo com o protocolo de aquisição descrito em [5]; na aquisição de todos os quatro canais, cada amostra é convertida com resolução de 10 bits, e empacotada numa trama com 7 bytes, resultando num volume de dados produzidos de 56 kbits / s ou 7 Kbyte / s, que é a taxa de transferência máxima que o sistema requer. A Figura 2 apresenta a configuração experimental, incluindo os componentes eletrónicos, elétrodos, e respetiva fiação. Também é possível notar as diferentes zonas condutoras nos lados esquerdo e direito da superfície do tampo do vaso sanitário, que foram sempre utilizadas na mesma ordem ao longo dos testes.

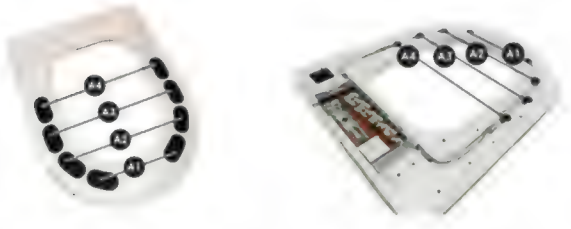



**Figura 2.** Protótipo do assento do vaso sanitário, destacando o posicionamento dos eletrodos. A1: Textura plana; A2: textura sinusoidal; A3: Textura trapezoidal; A4: textura piramidal [2].

A configuração experimental também incluiu um LED e um sensor de luminosidade para permitir a sincronização do dispositivo experimental com o sistema de referência. Esta abordagem ótica foi adotada para garantir o desacoplamento elétrico entre os sistemas. Em particular, conseguimos com este método recolher simultaneamente os dados usando o assento do vaso sanitário e um segundo sistema aplicado a um local de referência no corpo dos indivíduos testados (aqui considerado como o padrão), de uma forma que permite o alinhamento temporal dos traçados recolhidos em pós-processamento. Para análise de dados usamos o Python 3.8, a biblioteca BioSPPy (0.6.1) [6] para os métodos de filtragem e segmentação digital, e a biblioteca PyHRV (0.4.0) para análise de Variabilidade da Frequência Cardíaca (HRV). Salvo indicação em contrário, os valores médios e o desvio padrão foram calculados para todas as amostras. A configuração geral usada em nosso estudo é ilustrada na Figura 3.

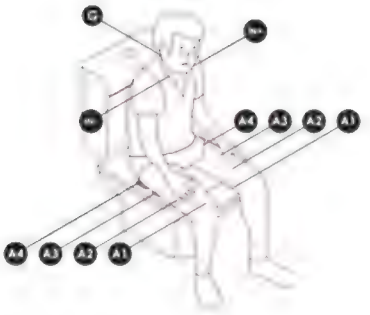



**Figura 3.** Configuração experimental. A1: Textura plana; A2: textura sinusoidal; A3: Textura trapezoidal; A4: textura piramidal [2].

## 3. Resultados

O objetivo desta análise é caracterizar as diferenças potenciais na frequência cardíaca e morfologia de onda, calculadas a partir dos sinais recolhidos com a configuração de referência e com a nossa abordagem. Distorções no sinal podem introduzir uma latência que afeta o cálculo da frequência cardíaca ou levar a picos não detetados ou detetados incorretamente. No nosso trabalho, o método de segmentação utilizado é o descrito em [7]. Dado que a frequência

cardíaca normal em repouso está entre 60 - 100 BPM, quando são detetados valores fora deste intervalo, a análise foi repetida, uma vez que os valores estão fora do esperado. A Tabela 1 mostra um resumo da análise comparativa para o cálculo da frequência cardíaca. Cada linha corresponde à frequência cardíaca derivada da série temporal de cada um dos sensores em avaliação, e para a qual a frequência cardíaca média (μ) também é mostrada, juntamente com o desvio padrão (σ). A diferença de frequência cardíaca entre cada canal experimental e o canal de referência é apresentada para cada par de batimentos concordantes entre as duas séries temporais. Por fim, é apresentada a percentagem de segmentos com ruído, que no nosso caso se consideraram corresponder aos períodos em que o sinal está saturado (no valor máximo ou mínimo). Com base nos resultados, os elétrodos A2 e A4 apresentam os melhores resultados, em comparação com o sensor de referência.

A Tabela 2 apresenta os valores do coeficiente de correlação de Pearson e Erro Quadrado Médio Normalizado (RMSE) para a morfologia da forma de onda, obtida com os elétrodos que demonstraram melhor desempenho. Com base nos resultados que foram posteriormente confirmados experimentalmente, o elétrodo A4 apresenta o melhor desempenho, portanto, resumimos os resultados apenas para esta textura. Assim, na Figura 4 é apresentada a textura final do elétrodo proposto para implementação prática, e um exemplo da onda de batimento cardíaco obtida com o mesmo.

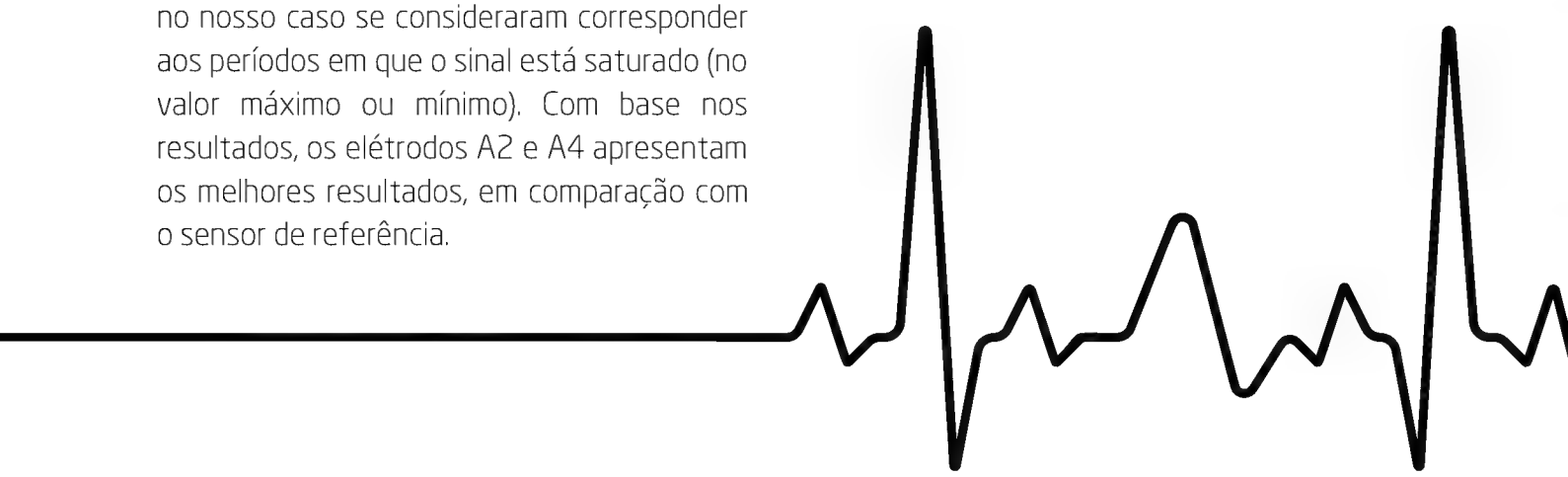
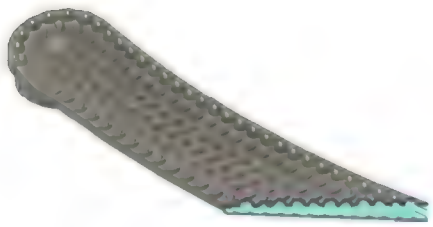


**Tabela 1 -** Análise comparativa dos valores de frequência cardíaca determinados usando cada sensor. Δ#QRS - Percentagem do número de complexos QRS detetados pelo sensor experimental (Ax) em relação ao QRS de referência (REF); FC - frequência cardíaca (em BPM); ΔFC - Diferença entre a FC detetada com REF e com Ax; SDE - Erro de deteção de sinal; valor p – p-value bilateral (teste t não emparelhado, utilizado na análise dos dados derivados dos sinais obtidos com os elétrodos A2, A3 e A4 em relação ao elétrodo REF). $x \in [1, \ldots, 4]$

| CANAL | Δ#QRS (%) | FC $\mu \pm \sigma$ | ΔFC $\mu \pm \sigma$ | SDE (%) | valor p |
|---|---|---|---|---|---|
| REF | | 78.39 ± 8.45 | | | |
| A1 | 53.77 | 82.52 ± 7.71 | 0.07 ± 6.76 | 60 | 0.992 |
| A2 | 100.10 | **80.00 ± 5.67** | **0.15 ± 5.12** | **10** | **0.963** |
| A3 | 113.86 | 78.72 ± 7.66 | -3.67 ± 5.05 | 40 | 0.409 |
| A4 | 97.15 | **76.62 ± 8.48** | **-1.78 ± 4.65** | **0** | **0.644** |

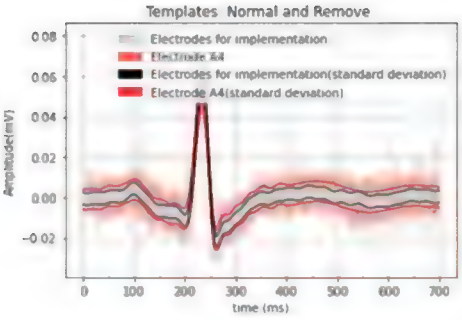
**Tabela 2 -** Coeficiente de Correlação de Pearson (PCC) e Erro Quadrático Médio Normalizado (NRMSE) entre as formas de onda cardíaca obtidas com o sensor de referência e o sensor experimental com o melhor desempenho geral (A4) para cada sujeito (SUJ).

| SUJ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PCC | 0.6±0.3 | 0.8± 0.3 | 0.4±0.1 | 1.0±0.1 | 0.9±0.1 | 0.8±0.1 | 1.0±0.1 | 1.0±0.7 | 1.0 ± 0.0 | 1.0±0.1 |
| NRMSE | 29.0 ±24.6 | 36.2 ±10.7 | 57.65 ±15.2 | 21.2 ±4.5 | 19.9 ±4.6 | 18.7 ±3.5 | 10.3 ±2.8 | 26.2 ±8.3 | 32.1 ± 5.5 | 24.7 ±5.2 |



a) Vista de corte do elétrodo com textura A4

b) Elétrodos produzidos para a implantação




c) Formas de onda de batimento cardíaco obtidas com o elétrodo A4 e obtidas com os elétrodos para implementação.

**Figura 4.** Textura proposta do elétrodo final para implementação, e exemplo de forma de onda de batimento cardíaco, obtida para um participante com o elétrodo final. comparativamente com a textura de melhor desempenho (A4) usada no nosso trabalho.

## Referências


[1] Goldberger, A.L , Shvilkin, A., Goldberger, Z D Goldberger's Clinical Electrocardiography A Simplified Approach. , 2018 Internet resource

[2] Silva, A S; Almeida, H, Silva, P H, and Oliveira, A, Design and evaluation of a novel approach to invisible electrocardiography (ECG) in sanitary facilities using polymeric electrodes Sci Rep 11, page 6222, 2021 https //doi org/10 1038/s41598-021-85697-2 H. Almeida, H. P Silva, and A Oliveira Design and evaluation of a novel approach to invisible electrocardiography (ECG) in sanitary facilities using polymeric electrodes. Sci Rep 11, page 6222, 2021. https.//doi.org/10.1038/s41598-021-85697-2

[3] Silva, H.P., Fred, A., Martins, R. "Biosignals for Everyone," in IEEE Pervasive Computing, vol. 13, 4 64-71 (2014), doi. 10.1109/MPRV 2014.61.

[4] Batista, D., Silva, H.P., Fred, A., Moreira, C., Reis, M., Ferreira, H.A. Benchmarking of the BITalino biomedical toolkit against an established gold standard. Healthc Technol Lett. vol. 6,232-36 (2019) doi. 10.1049/htl.2018 5037.

[5] Plácido da Silva, Hugo, Lourenco, Andre, Fred, Ana, Martins, Raul (2014) BIT Biosignal Igniter Toolkit Computer Methods and Programs in Biomedicine. 115 10 1016/j cmpb 2014 03 002

[6] PIA-Group BioSPPy - Biosignal Processing in Python (Accessed 24 January 2021) https //github com/PIAGroup/BioSPPy

[7] Lourenço, A, Silva, H., Carreiras, C Outlier Detection in Non-intrusive ECG Biometric System in Image Analysis and Recognition (Kamel M & Campilho A eds) Lecture Notes in Computer Science, 7950, 43-52 (2013) doi. 10 1007/978-3-642-39094-4_6

# Ciências Básicas

aeist
associação dos estudantes
do instituto superior técnico

# Ciência Pela Lente

## Nebulosa de Órion

A nebulosa de Orion é uma nebulosa difusa de emissão que se encontra entre 1500 e 1800 anos-luz do Sistema Solar, e situada a sul do Cintura de Órion. Uma nebulosa de emissão é uma nebulosa que rodeia uma estrela quente e difunde a energia recebida em forma de radiação, com um espectro marcado por linhas brilhantes de hidrogénio.

# Espectroscopia Mesónica Moderna: o Papel Fundamental da Unitariedade

Eef van Beveren[1] e George Rupp[2]
[1]Centro de Física da UC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra; eef@uc.pt
[2]Centro de Física e Engenharia de Materiais Avançados, Instituto Superior Técnico; george@tecnico.ulisboa.pt

## Introdução

A Espectroscopia Mesónica tem como objetivo principal descrever de forma sistemática as massas dos estados fundamentais e excitados de mesões observados em experiências nos vários aceleradores de partículas por esse mundo fora. Os mesões são sistemas de spin inteiro que consistem em dois fermiões, um quark (q) e um antiquark ($\bar{q}$). Quando a massa e os números quânticos o permitem, um mesão desintegra-se rapidamente em pares de mesões mais leves por meio da criação de um par $q\bar{q}$, tratando-se de um estado energeticamente favorecido. Neste caso, falamos de uma ressonância mesónica, com largura inversamente proporcional ao seu tempo de vida. A mesões que não se podem desintegrar desta forma chamamos, ignorando decaimentos muito mais lentos, estados ligados. A força que liga o par $q\bar{q}$ não é inteiramente conhecida, pois resulta da Cromodinâmica Quântica (QCD), que é uma teoria não solúvel a baixas energias. Mesmo assim, sabemos empiricamente que o respetivo potencial é sempre crescente à medida que a distância entre o par $q\bar{q}$ aumenta, já que (anti)quarks nunca foram observados isoladamente. Por isso se fala num potencial confinante, característica essa que já foi confirmada em simulações numéricas num espaço-tempo discretizado e finito cálculos na rede, "LQCD"). Para perceber melhor o potencial confinante convém analisar os espectros de mesões com números quânticos diferentes, e também compostos de (anti)quarks dos diversos sabores (u, d, s, c e b).

No entanto, uma comparação com a Espectroscopia Atómica revela logo várias complicações, que iremos ilustrar através das Figuras 1 e 2. Figura 1 exibe as massas dos mesões vetorial (spin 1) $\rho(770)$ e escalar (spin 0) $f_0(500)$ com as suas excitações radiais até cerca de 1.7 GeV (1700 MeV). Representamos todos estes mesões aqui por um retângulo, a fim de mostrar a dificuldade em atribuir uma massa precisa a cada um. A altura dos retângulos corresponde à respetiva incerteza experimental na massa, na escala da ordenada e segundo as tabelas do Particle Data Group (PDG), atualizadas anual e publicadas [1] bienalmente. As correspondentes dimensões na abscissa dão as larguras de decaimento dos vários mesões, outra vez na mesma escala que a da ordenada. Como já referimos, ressonâncias mesónicas desintegram-se rapidamente e os estados $\rho$ e $f_0$, que se desintegram ambos em dois piões, "vivem" durante tão pouco tempo ($10^{-24}$ a $10^{-23}$ seg.) que até se torna discutível atribuir-lhes uma massa. Torna-se assim indispensável definir de uma forma não ambígua o que se entende por massa no caso de partículas altamente instáveis. Esta problemática é o ponto central do presente artigo e será abordado nas secções seguintes. Falta ainda chamar a atenção para mais diferenças entre os, à primeira vista, incompreensíveis espectros dos $\rho$ e $f_0$, quando comparados com o simples espectro de hidrogénio atómico na Figura 2 (da Ref.a [2]). Neste caso, a incerteza nos níveis de energia é quase nula, pois tanto teórica como experimentalmente se trata de

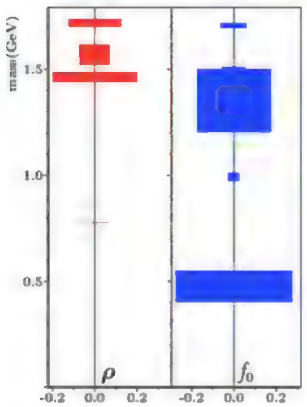



**Figura 1.** ρ(770), f0(500) e as suas excitações.

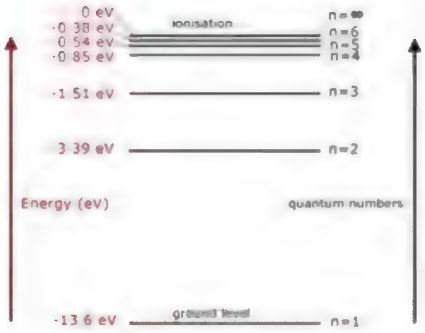



**Figura 2.** Níveis de energia de hidrogénio atómico.

um sistema extremamente bem conhecido e medido. Também a largura de decaimento dos níveis é totalmente desprezável em comparação com as separações entre eles, o que manifestamente não se aplica aos referidos mesões. Finalmente, os níveis de energia de hidrogénio têm uma referência relativa na energia de desintegração num protão e um eletrão, enquanto os mesões não se podem desintegrar num quark e um antiquark, pelo que é necessário usar a massa total do mesão como referência.

## Ressonâncias Breit-Wigner

A forma tradicional de modelar uma ressonância isolada é através de uma parametrização Breit-Wigner (BW), que mostramos esquematicamente na Figura 3 (da Ref.a [3]).

A respetiva expressão como função da energia é

$$P(E) \propto [(E - M)^2 + \Gamma^2/4]^{-1} , \qquad (1)$$

onde M é a massa e Γ a largura da ressonância. Verifica-se facilmente que a curva na Figura 3 atinge o seu máximo $P_{máx}$ quando E = M e Γ é mesmo a sua largura a meio de $P_{máx}$. Se permitirmos energias complexas, P(E) vai para infinito se $E \rightarrow M \pm i\Gamma/2$, ao que se chama pólos nesta função. Isto pode parecer apenas uma curiosidade académica, mas não o é, como veremos na secção seguinte sobre unitariedade. De qualquer modo, a parametrização BW de uma ressonância só é boa quando esta estiver bastante afastada tanto de possíveis outras ressonâncias como de um limiar de decaimento, que corresponde à soma das massas das partículas em que a ressonância se desintegra. Por exemplo, o ρ(770) tem, como único limiar, a energia de 280 MeV, ou seja, a soma das massas de dois piões (ππ). Uma vez que o intervalo de energia entre o ρ(770) e esse limiar é mais de 3 vezes a largura total do ρ(770), enquanto a distância até à primeira excitação ρ(1450) (segundo o PDG [1], Figura 1) é ainda maior, a parametrização BW afigura-se razoável neste caso. Porém, isso já não se pode dizer da ressonância escalar $f_0$(500) (Ref.a [1], Figura 1), que fica a menos de metade da sua massa e largura média do mesmo limiar (ππ). Para este e também outros mesões na Figura 1 impõe-se evidentemente uma descrição mais realista.

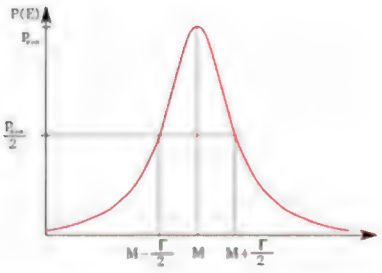



**Figura 3.** Ressonância Breit-Wigner [3].

## Modelo RSE e unitariedade

Há muito anos, conseguimos descrever [4] a ressonância $f_0(500)$ e os outros mesões escalares leves $f_0(980)$, $K_0^*(700)$ e a (980) [1] num modelo de quarks [5, 6] desenvolvido com colegas na Universidade de Nijmegen, Países Baixos. A essência do modelo era a descrição, com uma só expressão incluindo todos os possíveis estados ligados e ressonâncias mesónicos com os mesmos números quânticos e conteúdo de sabor, através de um tratamento em pé de igualdade do confinamento de quarks e o decaimento forte. Este formalismo é muito técnico e fica fora do âmbito do presente breve resumo. No entanto, convém ainda mencionar que o mesmo modelo descrevia com sucesso os então conhecidos espectros de charmónio (estados $c\bar{c}$) e bottomónio ($b\bar{b}$) [5], além de prever [6], entre muitos outros mesões, uma ressonância ρ(1250) (ver também a Ref. [7]) no largo intervalo de energia onde o PDG apenas identifica um ρ(1450) (ver Figura 1). Outra grande surpresa na Ref. [4] foi a descrição dos mesões escalares leves como ressonâncias dinâmicas e não simplesmente ligadas ao espectro do potencial confinante, nem como estados do tipo $qqq\bar{q}\bar{q}$ ("tetraquarks").

Muitos anos depois, um conhecido físico experimental desafiou-nos para desenvolver um modelo de quarks semelhante, mas de mais fácil utilização, o que nos levou ao modelo RSE ("Resonance Spectrum Expansion") [8]. A ideia básica é que ressonâncias mesónicas podem ser consideradas estados intermédios em colisões entre dois mesões mais leves, mas que ao mesmo tempo têm a identidade de estados $q\bar{q}$ com os mesmos números quânticos (spin, paridade,...). Isso é simbolicamente retratado na Figura 4, onde o primeiro diagrama representa o processo mais simples, com os dois mesões se "fundindo" no primeiro vértice, propagando-se depois como um conjunto de estados $q\bar{q}$ e desintegrando-se novamente em dois mesões no segundo vértice. Os processos nos vértices são a aniquilação e criação de um par $q\bar{q}$, respetivamente. O segundo diagrama na Figura 4 corresponde a um processo quântico de ordem superior, envolvendo duas aniquilações e duas criações de $q\bar{q}$. Os pontinhos representam todas as ordens superiores, que pela estrutura dos diagramas permitem somar tudo, algébrica e analiticamente, para se obter uma expressão fechada para o que se chama a amplitude deste processo. Isto equivale a resolver uma equação do tipo Schrödinger. Com a tal amplitude constrói-se diretamente a chamada matriz S, que é a grandeza quântica mais geral para descrever processos de colisões entre partículas.

**Figura 4.** Representação esquemática do modelo RSE.

Observe que, embora todas as linhas externas dos diagramas na Figura 4 sejam rotuladas com a mesma letra M, os pares de mesões dos lados esquerdo e direito não precisam de ser iguais. Por exemplo, na dispersão de piões pode-se formar uma ressonância da família dos ρ pela aniquilação de um par $q\bar{q}$ leve. Caso a massa total o permita, esta ressonância pode também desintegrar-se num par de kaões (KK) através da criação de um par $s\bar{s}$. A matriz S descreve assim não apenas a dispersão de dois piões, mas também a sua transformação em pares de outros mesões e ainda a dispersão direta destes mesões. A enorme vantagem de se ter uma forma explícita da matriz S é que a mesma contém toda a informação do processo, incluindo limiares de decaimento,

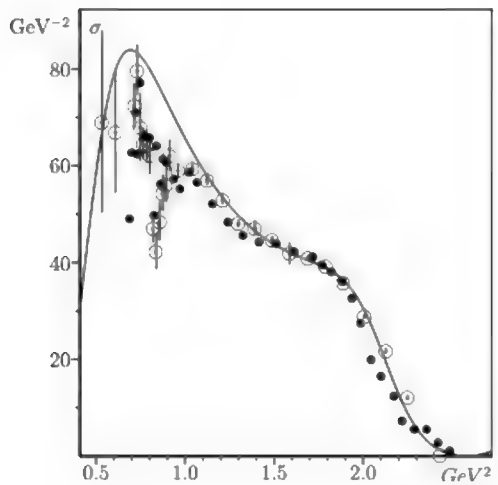



**Figura 5.** Secção eficaz Kπ em onda S [9].

estados. Muitos anos depois, um conhecido físico experimental desafiou-nos para desenvolver um modelo de quarks semelhante, mas de mais fácil utilização, o que nos levou ao modelo RSE ("Resonance Spectrum Expansion") [8].ligados, ressonâncias simples e ressonâncias dinâmicas. Estas duas últimas correspondem a singularidades complexas em S, os tais pólos acima referidos, mas agora bem realistas e sem aproximações do tipo BW para cada uma destas ressonâncias separadamente. A matriz S assim derivada é manifestamente simétrica e unitária, propriedades matemáticas essas que garantem invariância de reversão de tempo e conservação de probabilidade, respetivamente. A unitariedade de S implica $(S^*)^T S = 1$, onde o asterisco significa complexo-conjugado e o "T" transposição. Uma aplicação muito simples [9] do modelo RSE, com o único modo de decaimento Kπ em onda S (l = 0), resulta numa notável descrição da respetiva secção eficaz experimental até E = 1.6 GeV (ver Figura 5), com muito poucos parâmetros. Além disso, consegue identificar um pólo dinâmico de energia complexa a (714 − i228) MeV, correspondente à ressonância escalar $K_0^*$ (700) [1]. Desde então fizemos muitas outras aplicações do modelo RSE à espectroscopia mesónica, descrevendo ressonâncias mais complicadas, que envolvem vários modos diferentes de decaimento. Exemplos bem-sucedidos, além dos mesões escalares leves e nalguns casos já confirmados pela LQCD, são os controversos mesões $D_{s0}^*(2317)$ [10], $D_0^*$ (2300), $D_{s1}(2460)$, $D_1(2430)$, $D_s JJ$ (2860), $\chi_{c1}$ (3872) [11], ψ(4260), ψ(4660) e Υ(10580). Tratámos de forma muito mais detalhada destas e doutras ressonâncias mesónicas num recente artigo de revisão por convite [12], que também aborda processos de produção e efeitos de limiares, com base no princípio da unitariedade.

## Resumo

Os resultados das experiências de colisões são dados em termos de seções eficazes ou amplitudes em função da energia total. Geralmente, a amplitude exibe várias elevações que podem indicar a existência de ressonâncias mesónicas nas respetivas energias. A descrição desta amplitude por uma só expressão para todos os membros de uma família de mesões é claramente mais realista do que uma parametrização um a um do tipo Breit-Wigner.

## Referências

[1] P A Zyla et al [Particle Data Group], Prog Theor Exp Phys 2020 (2020) 083C01
[2] https //brilliant org/wiki/energy-level -and-transition-of-electrons/ [
[3] https //commons wikimedia org/wiki/ File Breit-Wigner svg
[4] E van Beveren, T. A Rijken, K Metzger, C Dullemond, G Rupp e J E Ribeiro, Z Phys C 30 (1986) 615 [arXiv 0710 4067 [hep-ph]]
[5] E van Beveren, C Dullemond e G Rupp, Phys Rev D 21 (1980) 772
[6] E van Beveren, G Rupp, T. A Rijken e C Dullemond, Phys Rev D 27 (1983) 1527 [
[7] N Hammoud, R Kami´nski, V Nazari e G Rupp, Phys Rev D 102 (2020) 054029 [arXiv 2009 06317 [hep-ph]]
[8] E van Beveren e G Rupp, Int J Theor Phys Group Theor Nonlin Opt 11 (2006) 179 [arXiv hepph/0304105]
[9] E van Beveren e G Rupp, Eur Phys J. C 22 (2001) 493 [arXiv hep-ex/0106077]
[10] E van Beveren e G Rupp, Phys Rev Lett 91 (2003) 012003 [arXiv hep-ph/0305035]
[11] S Coito, G Rupp e E van Beveren, Eur Phys J C 71 (2011) 1762 [arXiv 1008 5100 [hep-ph]]
[12] E van Beveren e G Rupp, Prog Part Nucl Phys 117 (2021) 103845 [arXiv 2012 03693 [hep-ph]]

# Condutores em Bicamada; Diversidade de Estruturas e Propriedades (Novidades no reino dos materiais orgânicos cristalinos: os compostos em Bicamada)

Isabel C. Santos, Vasco Gama, Sandra Rabaça, Luís F. Veiros,
Fernando Nogueira, José A. Paixão and Manuel Almeida

Muito antes da descoberta do grafeno e de toda a atenção que lhe tem sido dada, já eram conhecidas estruturas cristalinas em camada que despertaram o interesse da comunidade científica para o estudo das propriedades eletrónicas de sistemas bidimensionais (2D).

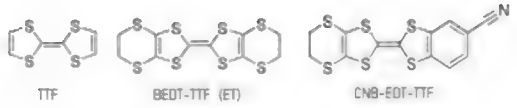



**Figura 1.** Esquema molecular de alguns doadores eletrónicos.

As estruturas em camada são bastante comuns em sais de transferência de carga baseados em doadores eletrónicos orgânicos derivados do tetratiafulvaleno (TTF). Um dos doadores mais estudado tem sido o bis-etileno-ditio-tetratiafulvaneo (BEDT-TTF ou ET). Apesar dos nomes algo estranhos, para quem não está habituado à nomenclatura química, estas, pequenas moléculas orgânicas eletroativas, são na sua essência simples compostos, essencialmente constituído por átomos de carbono, enxofre e hidrogénio num sistema de eletrões p conjugados. (Figura 1). Quando combinadas com aniões originam sais de transferência de carga, usualmente com a composição de duas moléculas doadoras (D) para um mono anião (A), $D_2A$, em que as moléculas dos doadores parcialmente oxidadas, tendem a organizarem-se em camadas orgânicas compactas, que alternam com camadas de aniões. Na camada orgânica de doadores, as moléculas encontram-se alinhadas paralelamente em relação ao seu eixo de maior dimensão, favorecendo interações p-p entre moléculas vizinhas, e apresentam variedade de empacotamentos que levam a várias estruturas (fases) convencionalmente identificadas por letras gregas: α, α″, β′, β″, k, θ, etc... As moléculas doadoras parcialmente oxidadas e empacotadas em camadas são muitas das vezes responsáveis por propriedades metálicas ou mesmo supercondutoras. A variedade de empacotamentos da camada orgânica está associada a diferentes propriedades elétricas dos sais de transferência de carga, o que torna estes sistemas 2D muito atrativos para os físicos do estado sólido, possibilitando-lhes estudar os mecanismos por detrás de alguns dos fenómenos mais interessantes da Física em sistemas 2D tais como a supercondutividade, transições de Mott, localização de carga, ou líquidos de spins.

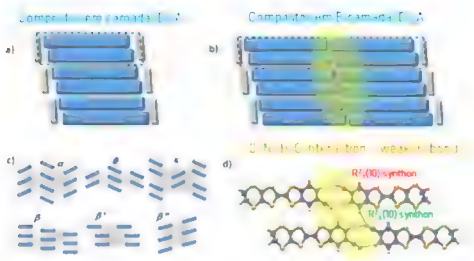


**Figura 2.** a) e b) Esquema da estrutura dos compostos em bicamada, $D_4A$, em comparação com os em monocamada, $D_2A$. c) Diversidade de empacotamentos dos doadores na camada orgânica, vistos ao longo do maior eixo das moléculas doadoras. d) Interações C-N...H-C responsáveis pelas bicamadas.

Nos últimos anos, com a síntese de um novo doador o CNB-EDT-TTF (5-cianobenzeno-etileno-ditio-tetratiofulvaleno), surgiu um novo paradigma dos sistemas condutores 2D, os condutores em bicamada.

Este doador deu origem a uma nova família de sais de transferência de carga com a estequiometria, $D_4A$ (Figura 2). A síntese destes compostos é feita geralmente por eletrocristalização, com a utilização de corrente elétrica, que promove a oxidação do doador, em solução e na presença dos aniões (Figura 3).

A estequiometria de 4:1, assim como o arranjo estrutural dos doadores parcialmente oxidados em bicamada, revelaram-se características únicas que conferem, aos materiais, propriedades metálicas e supercondutoras.

Nos sais $D_4A$, verifica-se o estabelecimento de uma rede de pontes de hidrogénio C-N...H-C, responsável por interações entre doadores CNB-EDT-TTF que, embora fracas, são muito efetivas na associação das moléculas topo a topo em bicamada, em vez da camada simples típica dos sais $D_2A$. As bicamadas de doadores estão separadas por camadas de aniões Este tipo de estrutura em bicamada tem sido observada em sais $(CNB\text{-}EDT\text{-}TTF)_4A$, com uma variedade de pequenos aniões A, com diferentes geometrias, linear ($I3^-$, $AuI2^-$, I2Br), tetraédrica ($ClO_4^-$, $BF_4^-$, $ReO_4^-$), octaédrica ($PF_6^-$, $AsF_6^-$, $SbF_6^-$) ou mesmo de natureza polimérica. Estes compostos revelam grande diversidade de polimorfismo com diferentes origens: i) diferentes tipos de empacotamento das camadas orgânicas; ii) arranjo uniforme ou alternado da inclinação das moléculas dos doadores nos sucessivos planos; iii) ordenamentos das camadas aniónicas.

## Polimorfismo camada orgânica, empacotamento b e k dos doadores

A primeira origem de polimorfismo nos sais em bicamada é o modo como as moléculas doadoras se organizam na bicamada orgânica, como de resto já conhecido nos compostos

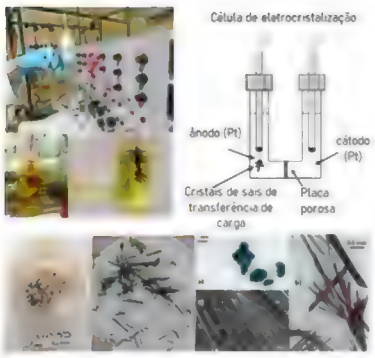



**Figura 3.**. Representação esquemática e fotografia de uma célula de eletrocristalização. Cristais crescendo no elétrodo e depois de recolhidos, assim como imagens SEM.

D2A em monocamada. Todos os compostos desta família foram obtidos na fase β″, sendo o sal $(CNB\text{-}EDT\text{-}TTF)_4I_3$ o único que também foi obtido na fase k. Os valores de energia calculados por métodos DFT (density functional theory), indicam que a fase k é metaestável, com uma energia de rede significativamente mais elevada que a fase β″. As propriedades destes dois polimorfos são distintas. A fase β″ apresenta um comportamento metálico até 1.5 K. A resistividade elétrica da fase k, à temperatura ambiente, é ligeiramente superior à da fase β″, com uma dependência com a temperatura distinta, sendo o máximo na resistividade dependente da amostra estudada e supondo-se que possa estar relacionado com fenómeno de ordenamento de carga. A temperaturas inferiores a ≈3K a resistividade da fase k apresenta um decréscimo abrupto que é suprimido com a aplicação de um campo de 0.5 T, uma assinatura clássica de um comportamento supercondutor (Figura 4).

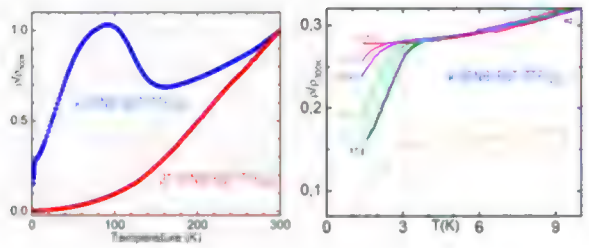



**Figura 4.**. Resistividade das fases β″ e k do composto $(CNB\text{-}EDT\text{-}TTF)_4I_3$, com e sem a aplicação de campo.

Outra origem de polimorfismo está relacionada com a inclinação dos doadores entre bicamadas sucessivas. Com o ião ClO4- (perclorato) observaram-se dois polimorfos. Ambos com o mesmo empacotamento β″ dos doadores em bicamada, mas um com uma célula unitária triclínica, $\beta''_{T-}$ $(CNB\text{-}EDT\text{-}TTF)_4ClO_4$, e outro com uma célula unitária monoclínica $\beta''_{M-}$ $(CNB\text{-}EDT\text{-}TTF)_4ClO_4$. O que distingue estes dois polimorfos é a orientação uniforme ou alternada da inclinação das moléculas de doador em bicamadas consecutivas (Figura 5). Este tipo de polimorfismo será possivelmente comum a outros sais com aniões tetraédricos, no entanto com os aniões $BF_4$ e $ReO_4$ apenas foi identificada a fase monoclínica.

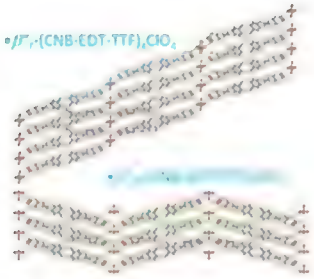


**Figura 4.** Estrutura cristalina das fases $\beta''_T$ $(CNB\text{-}EDT\text{-}TTF)_4ClO_4$ e $\beta''_{M-}$ $(CNB\text{-}EDT\text{-}TTF)_4ClO_4$. A célula monoclínica quando comparada com a triclínica tem o dobro do volume, com a duplicação de do eixos perpendicular às camadas $b_M = 2c_T$ devido à alternância da inclinação dos doadores.

## Polimorfismo da camada inorgânica, desordem aniónica.

Para além do polimorfismo relacionado com o empacotamento dos doadores, há também o polimorfismo relacionado com a ordem/desordem dos aniões na camada inorgânica. Tanto as fases β″ como k do $(CNB\text{-}EDT\text{-}TTF)_4I_3$ apresentam desordem aniónica, em que os aniões aparecem desordenados em diferentes posições entre bicamadas. Na fase β″ do $(CNB\text{-}EDT\text{-}TTF)_4I_3$ foi possível identificar dois polimorfos distintos, uma fase com o anião triodeto ($I_{3-}$) desordenado $\beta''_d$ com uma célula unitária pequena e uma fase ordenada $\beta''_0$ em que a célula unitária tem o dobro do volume da anterior. Este ordenamento aniónico tem como consequência a existência de duas moléculas não equivalentes na célula unitária da estrutura ordenada, o que sugere uma diferença no estado de oxidação das moléculas. O ordenamento dos aniões com a duplicação da célula unitária afeta a forma da superfície de Fermi.

A desordem observada nos aniões e o facto de termos parâmetros de malha pequenos indicam tratarem-se de estruturas médias desordenadas. A desordem dos aniões pode ser intrínseca à camada aniónica ou resultar de uma alternância aleatória nas sucessivas camadas aniónicas ordenadas, sendo este um caso típico de politipismo.

A descoberta desta nova família de sais bicamada veio abrir novas perspetivas nos condutores moleculares 2D, com aspetos que ainda necessitam de estudo detalhado, nomeadamente do ponto de vista estrutural recorrendo à radiação de sincrotrão com pequenos monocristais para o estudo do polimorfismo e politipismo destes compostos. Nos compostos em camada simples as propriedades eletrónicas são devidas a eletrões em camadas bem isoladas pelos aniões que se comportam aproximadamente como independentes. Nos condutores em bicamada as propriedades eletrónicas refletem também a interação entre as duas camadas de um par, podendo originar fenómenos de ressonância e interferência entre os eletrões em cada camada do par. Estes fenómenos constituem uma novidade nos condutores 2D e encontram-se atualmente em estudo no âmbito do projeto BILMET financiado pela FCT.

**Nota: O artigo aqui apresentado é uma tradução adaptada da publicação "Structural diversity in conducting bilayer salts (CNB-EDT-TTF)$_4$A", I. C. Santos, V. Gama, S. Rabaça, L. F. Veiros, F. Nogueira, J. A. Paixão, M. Almeida, CrystEngComm, 2020, 22, 8313.**

# Flashes de raios-x e raios gama e a geração de ondas relativistas

Luís Oliveira e Silva [1,2], Thomas Grismayer [2]

1 - Departamento de Física e 2 - GoLP/Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear
Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

A luz é central nas nossas vidas, na ciência e na tecnologia e na nossa interação com tudo o que nos rodeia. Dos comprimentos de onda mais longos, como as micro-ondas, até aos comprimentos de onda mais curtos, como os raios gama, é através da luz que recebemos nos nossos olhos, nos telescópios e detetores que exploramos e compreendemos a Natureza. Só muito recentemente, explorando a informação que nos chega de todo o Universo noutras partículas, como os raios cósmicos ou os neutrinos, ou nas ondas gravitacionais é que se abriram janelas diferentes para o Universo.

Não é assim surpreendente que as propriedades da luz tenham sempre fascinado os cientistas e motivado, durante vários séculos, debates intelectuais intensos, por exemplo entre uma perspetiva ondulatória e uma perspctiva corpuscular da luz. Com James Clerk Maxwell, físico do séc. XIX, os princípios da eletrodinâmica clássica foram definitivamente estabelecidos, com as famosas equações de Maxwell. No entanto, a teoria quântica da luz, intimamente associada à génese da Mecânica Quântica com Max Planck e Albert Einstein, foi apenas formulada na segunda metade do séc. XX, reconhecida com o prémio Nobel da Física de 1965 para Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger e Richard P. Feynman.

Desde 1910, mais três dezenas de Prémios Nobel reconheceram avanços científicos diretamente associados à luz, nos seus diferentes comprimentos de onda e em múltiplas áreas da ciência, e muitos outros Nobel estão-lhe indiretamente associados [1].

O Prémio Nobel mais recente associado a esta linhagem foi atribuído em 2018 a Gérard Mourou e a Donna Strickland, reconhecendo a invenção associada à denominada luz extrema [2]. Esta invenção demonstrou como é possível criar intensidades luminosas em laboratório tão elevadas (em 2021, mais de $10^{21}$ W/cm2) que os próprios electrões, sob acção desses lasers, se movem a velocidades muito próximas da velocidade da luz.

Uma das aplicações mais emblemáticas da luz extrema está associada com a aceleração de partículas [3,4,5]. Da mesma forma que, à superfície de um lago, um barco deixa uma ondulação no seu rasto (que pode até ser surfada) também lasers com intensidades luminosas muito elevadas podem gerar, quando se propagam num plasma ou gás ionizado, ondas nas sua esteiras. Estas ondas têm um campo elétrico elevado e, propagando-se a velocidades próximas da velocidade da luz no vácuo, são estruturas excelentes para que os eletrões aí "surfem" sendo assim acelerados em distâncias muito curtas (poucos mm) até energias muito elevadas (superiores a GeV).

Intensidades luminosas ainda mais elevadas são comuns em astrofísica, associadas a alguns dos eventos mais explosivos e energéticos no Universo, como gamma ray bursters, supernovas ou em estrelas de neutrões com campos magnéticos ultra-intensos (magnetares), que podem atingir $10^{15}$ G. Nestes casos, uma parte significativa da energia luminosa é libertada em comprimentos de onda muito curtos (ou energias dos fotões muito elevadas) na região espectral dos raios-x e raios gama.

Num conjunto de trabalhos recentes, e em particular [6], temos procurado compreender se, tal como acontece com os lasers com fotões de comprimentos de onda mais longos (energias dos fotões mais baixas), também impulsos ou flashes muito intensos de raios-x e raios gama podem gerar ondas relativistas no seu rasto e assim, indiretamente, acelerar partículas carregadas ou até gerar radiação coerente.

A física associada à interação dos fotões individuais destes flashes com os eletrões é intrinsecamente quântica. Nos regimes que consideramos, o processo físico mais relevante é a difusão de Compton, que descreve a colisão entre um fotão e um eletrão. A energia dos fotões é muito elevada, podendo ser muito maior do que a energia em repouso de um eletrão me c2) e a distância entre as partículas constituintes do meio (neste caso os eletrões do plasma) é muito maior do que o comprimento de onda da luz. Será que estes flashes muito intensos de raios x ou raios gama também criam estas ondas nas suas esteiras que podem acelerar partículas muito energéticas?

No passado, tinha já sido previsto que a força da radiação associada a estes impulsos de raios-x e raios gama produz um efeito semelhante a um "limpa-neves", empurrando os eletrões à sua frente. Não analisaram, no entanto, a resposta do próprio plasma a esta força e, em particular, a possibilidade da resposta do plasma para gerar ondas relativistas e a aceleração de partículas.

Nos nossos modelos teóricos, a dinâmica dos fotões energéticos, com comprimentos de onda da ordem ou inferiores a 10 nm, está acoplada aos eletrões através da difusão de Compton. Os eletrões, por sua vez, estão sujeitos a esta interação quântica com os fotões de alta energia mas também estão sob a ação (clássica) dos campos elétricos e magnéticos, determinados pela evolução auto-consistente das cargas/correntes dos eletrões que seguem as equações de Maxwell. Os nossos modelos numéricos, que exploramos nalguns dos maiores supercomputadores do mundo, fazem também esta ligação entre os processos quânticos e a dinâmica clássica do plasma. Foi possível demonstrar [6, 7] não só o efeito "limpa-neves" mas também que também estes flashes de fotões muito energéticos podem gerar ondas relativistas (também denominados "wakefields") capazes de acelerar partículas. As estruturas previstas (Figura 1) partilham muitas características com as das ondas geradas em laboratório com lasers (tipicamente com comprimentos de onda da ordem de 1 mm) embora com algumas subtis diferenças.

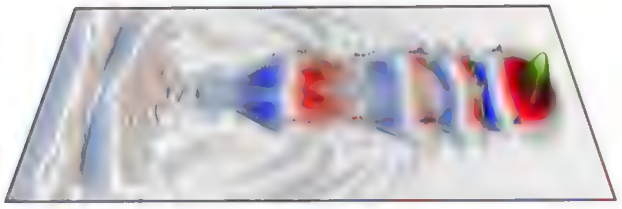


**Figura 1.** Um flash de raios-X (representado a verde) propaga se, da esquerda para a direita, num plasma deixando na sua esteira oscilações, designadas por oscilações plasma eletrónicas, que podem ser aqui observadas na modulação da densidade dos eletrões (representada a cinza). A componente do campo elétrico paralela à direção de propagação do flash é representada numa escala de cores de azul (negativo) a vermelho (positivo), em que o branco representa campo elétrico nulo. Eletrões podem ser acelerados nesta estrutura do campo elétrico que se move à velocidade do flash de raios-x. Cortesia F. Del Gaudio [7]

O que é ainda mais fascinante nestas ondas relativistas é que a sua velocidade é determinada pela velocidade de propagação dos impulsos de luz que os geram, sejam lasers ou flashes de raios-x. No caso clássico, esta velocidade é aproximadamente a velocidade de grupo do laser no meio em que se propaga [8]. No caso destes flashes de fotões altamente energéticos cenário é um

pouco mais subtil. Imaginando que os fotões destes flashes se movem balisticamente à velocidade da luz é possível verificar que a velocidade do flash é apenas limitada por considerações geométricas (por exemplo a divergência ou ângulo de emissão destes fotões). Claro que, como resultado da difusão de Compton, os fotões que interagem individualmente com os eletrões também são ligeiramente desviados da sua trajetória inicial, diminuindo-se assim também a sua velocidade ao longo da direção preferencial do flash. Este ponto é particularmente importante dado que a energia máxima que as partículas podem atingir quando aceleradas nas ondas ou "wakefields" no rasto destes flashes é proporcional a $\gamma^2$, em que $\gamma$ é o fator de Lorentz definido a partir da velocidade do flash de luz. Os nossos trabalhos demonstraram que, efetivamente, o fator de Lorentz é, não só muito elevado em cenários astrofísicos realistas, como é possível manter a estrutura de aceleração durante zonas espaciais muito longas e assim acelerar partículas carregadas, em particular eletrões até energias muito elevadas. As ondas relativistas podem ainda ser geradas na presença de campos magnéticos, que não afetam a propagação dos flashes de fotões ultra energéticos. Estas ondas, ao se propagarem para zonas de campo magnético mais baixo (por exemplo a distância maiores da fonte ou da estrela), podem ser convertidas em radiação coerente, em geral na gama espectral das micro-ondas [6].

Os trabalhos até agora realizados são apenas um primeiro passo na exploração da interação de flashes intensos de fotões de alta energia com plasmas. Neste momento, estamos ainda a explorar ainda alguns dos aspetos fundamentais deste novo regime para a interação de raios-x e raios gama com a matéria, estudando flashes de durações mais longas (quando comparadas com a escala de tempo das ondas relativistas que estamos a gerar) e também efeitos multidimensionais que não são facilmente descritos por modelos teóricos. Temos ainda o objetivo de testar experimentalmente alguns destes conceitos. As novas fontes de eletrões de raios-X (LCLS II em SLAC/Stanford e XFEL no DESY) podem abrir a possibilidade de desenhar experiências para testar algumas destas ideias o que permitiria ligar de forma virtuosa teoria, experiências e simulações e estabelecer paralelos entre processos que podem estar presentes em cenários astrofísicos extremos (e responder a algumas questões fundamentais nesses cenários) e experiências laboratoriais.

## Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer discussões com o Prof. Jorge Vieira (também pela leitura deste texto e sugestões) e o Prof. Ricardo Fonseca. Este trabalho foi parcialmente financiado pelo European Research Council (ERC-2015-AdG Grant No. 695088). As simulações foram efectuadas nos supercomputadores MareNostrum (Barcelona Supercomputing Center) no âmbito da Partnership for Advanced Computing in Europe.

## Referências

[1] J. Dudley, Advanced Photonics 2(5), 050501 (2020) (https://doi.org/10.1117/1.AP.2.5.050501)
[2] G. Mourou and D. Umstadter, Scientific American 286, 5 (May 2002) (https://doi.org/10.1038/scientificamerican0502-80)
[3] C. Joshi, Scientific American 325, 54 (July 2021)
[4] T. Tajima and J.M. Dawson, Phys. Rev. Lett. 43, 267 (1979) (https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.43.267)
[5] J. T. Mendonça e L. O. Silva, Revista Técnica 1/94, 5 (1994)
[6] F. Del Gaudio et al., Phys. Rev. Lett. 125, 265001 (2020) (https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.125.265001)
[7] F. Del Gaudio, Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico (2020) (https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1130581421202342/PhD_Thesis_FDG_bwlnk.pdf)
[8] Como breve nota para as(os) mais curiosas(os), existe também um grande debate sobre este ponto, principalmente quando exploramos impulsos laser com propriedades exóticas, em que a velocidade de grupo, definida como todos aprendemos nas cadeiras de electromagnetismo, pode ser superior à velocidade da luz (D. H. Froula et al., Nature Photonics 12, 262 (2018) https://doi.org/10.1038/s41566-018-0121-8) ou que pode até curvar no vácuo (P. Polynkin et al., Science 324, 229 (2009) https://doi.org/10.1126/science.1169544).

# Mecânica, Energia e Ambiente

aeist

# Ciência Pela Lente

## Lago de tóxico de Geamăna

Em 1978, a vila de Geamăna, na Roménia, foi deliberadamente submersa por um lago artificial, com o propósito de armazenar os resíduos tóxicos provenientes de uma mina de cobre. O lago ácido contém cianeto, que era utilizado no processo de extração do cobre.

400 famílias foram obrigadas a abandonar as suas casas. Hoje, o topo da igreja e algumas casas são tudo o que resta da vila.

Créditos: Sergiu Bacioiu

# Atual agricultura biológica não permitirá alimentar a Humanidade: viabilidade futura passa pela inovação e pelo recurso a animais

Tiago G. Morais, Ricardo F.M. Teixeira, Tiago Domingos
MARETEC– Marine, Environment and Technology Centre, LARSyS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

## Resumo

No que concerne a política agrícola e ambiental, a produção biológica é considerada inerentemente sustentável dado que, por unidade de área, a agricultura biológica parece ter menores impactes ambientais. No entanto, as suas produções são mais baixas, o que obriga a expansões de área agrícola para satisfazer a procura. Neste artigo estudamos o papel que a disponibilidade de azoto, um nutriente essencial para a produção alimentar, tem na sustentabilidade dos sistemas alimentares. Mostramos que alimentar o Mundo apenas com recurso à agricultura biológica em 2050 não será possível, caso esta continue a ser feita como até aqui. O papel da dieta é reduzido - mesmo que a totalidade da população se tornasse vegetariana ou vegan, continuaria a não haver azoto suficiente. Na verdade, os animais auxiliam a produção biológica ao obter nutrientes de pastagens onde não pode ser feita agricultura e disponibilizá-los, através dos estrumes, para as culturas agrícolas. O estudo aponta uma agenda concreta de investigação e desenvolvimento que poderá garantir não só a sustentabilidade da agricultura biológica, mas também dos sistemas alimentares em geral.

## Artigo

No futuro, é expectável que a população humana continue a crescer levando ao aumento da pressão sobre os sistemas de produção agrícola. Atualmente, estes sistemas são responsáveis por cerca de 1 quarto das emissões globais de gases com efeito de estufa (GEE) e ainda responsáveis pelo uso excessivo de nutrientes, nomeadamente de azoto (o principal nutriente limitante para a produção agrícola).

Diminuir o impacto da produção de alimentos, no entanto, pode ser complicado devido aos trade-offs que existem nos sistemas agrícolas. Por exemplo, a intensificação (aumento de produção por unidade de área e/ou produto) tem sido apontada como uma solução viável através da libertação de áreas para regeneração natural. No entanto, intensificação, muitas vezes, significa perda de eficiência e, com isso, uso excessivo de azoto. Ao mesmo tempo, aumentar a utilização de fertilizantes sintéticos de azoto está associado ao aumento de emissões de GEE e à contaminação de massas de água.

Outra alternativa para a redução do impacto dos sistemas agrícolas é a conversão para o modo de produção biológico. O principal objetivo deste sistema de produção é a eliminação de fontes industriais de azoto (i.e. fertilizantes sintéticos) e a utilização exclusiva de fontes naturais de azoto, como a fixação biológica e estrumes animais. No entanto, a produtividade típica da produção biológica é 20% inferior à da produção convencional, levando a um aumento da necessidade de área para satisfazer a procura.

Ainda assim continuava a faltar a análise de uma potencial transição futura para a agricultura biológica a nível mundial acompanhada de uma alteração da dieta humana. Morais et al. (2021) olhou para os sistemas de produção alimentar no Mundo e

estimou como estes evoluirão até 2050. Aferiu-se a disponibilidade de azoto e área para produção biológica e convencional em função das possíveis escolhas de dieta da população futura, nomeadamente dietas que envolvam carne ou outros produtos animais e dietas totalmente veganas. O modelo classifica cada cenário em "viável" se existe área agrícola e azoto disponível para a produção necessária de alimento. O modelo considera ainda que não poderá ocorrer desflorestação adicional para suprir as necessidades de alimento. Para esta avaliação, o estudo baseou-se no modelo BioBaM (Erb et al., 2016), desenvolvido pelo Institute of Social Ecology (Viena, Áustria). Trata-se de um modelo biofísico baseado num balanço de massa em carbono entre a procura e oferta de biomassa a nível global. Em Morais et al. (2021) foi acrescentado ao BioBam um balanço de massa de azoto. No total foram simuladas mais de 500 combinações de potencial evolução futura dos sistemas de produção e consumo alimentares. Avaliou-se se cada sistema de produção, aplicado para produzir alimentos que satisfaçam cada escolha de dieta, terá azoto e área suficiente e se causará mais ou menos emissões de GEE do que no presente. Os resultados mostram que a transição completa para produção biológica em 2050, considerando o sistema de produção biológica como ele é atualmente, leva a uma insuficiência de azoto para produzir o alimento necessário para alimentar a população mundial, independentemente das mudanças de dieta. Curiosamente, a continuação de dietas humanas com produtos animais, nomeadamente com carne, torna a produção biológica mais próxima de ser viável (Figura 1). As dietas com carne necessitam, porém de mais área agrícola e emitem mais GEE, em comparação com as dietas sem carne ou até mesmo sem produtos animais. Neste sentido, este estudo vem confirmar alguns resultados parciais que já existiam na literatura – a agricultura mundial não pode ser convertida para agricultura biológica se esta for feita como atualmente.

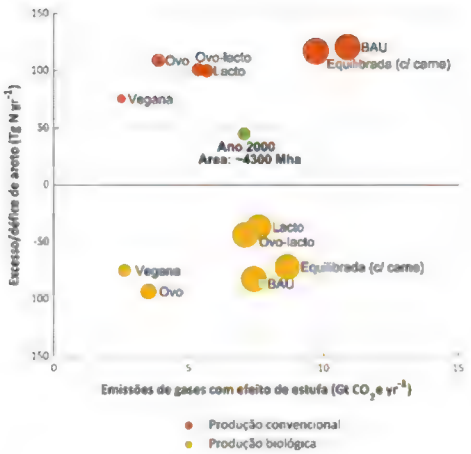



**Figura 1.** Efeito da conversão em 2050 para produções totalmente convencional e totalmente biológica considerando diferentes opções de dietas. "BAU" – "Business-as-usual", cenário com os níveis atuais de consumo de produtos animais.

Morais et al. (2021) simulou o efeito de medidas como a melhoria da eficiência da produção agrícola e animal, a redução do desperdício alimentar, o uso de fertilizante orgânico obtido de resíduos municipais urbanos e resíduos humanos e o uso de biogás produzido a partir dos dejetos da produção animal. As conclusões foram positivas, se bem que desafiantes. É possível converter a agricultura mundial para agricultura biológica com a aplicação destas medidas, mas será mesmo necessário conseguir uma melhoria ao nível de todas as vertentes estudadas para se obter uma agricultura biológica sustentável. Individualmente, nenhuma das medidas consideradas é suficiente para ultrapassar a limitação de azoto, verificando-se este resultado em todas as alternativas de dieta humana. As medidas que contribuem mais significativamente são as agroecológicas em

combinação com as de economia circular (Figura 2). A melhoria da eficiência do uso de azoto (na produção agrícola e produção animal) combinada com a redução dos desperdícios permite que a produção mundial de alimento consiga suprir todas as necessidades de azoto. Ao mesmo tempo, a implementação das medidas consideradas leva à redução da necessidade de uso de solo e emissões de GEE.

biológica requer mais área devido à área utilizada para fixação biológica de azoto por leguminosas. Ainda assim, os resultados mostram que não existe uma dieta combinada com o sistema de produção que seja simultaneamente melhor nos três indicadores considerados. A dieta vegana em produção convencional com melhoria de produtividade agrícola minimiza a área necessária. Esta mesma combinação, mas

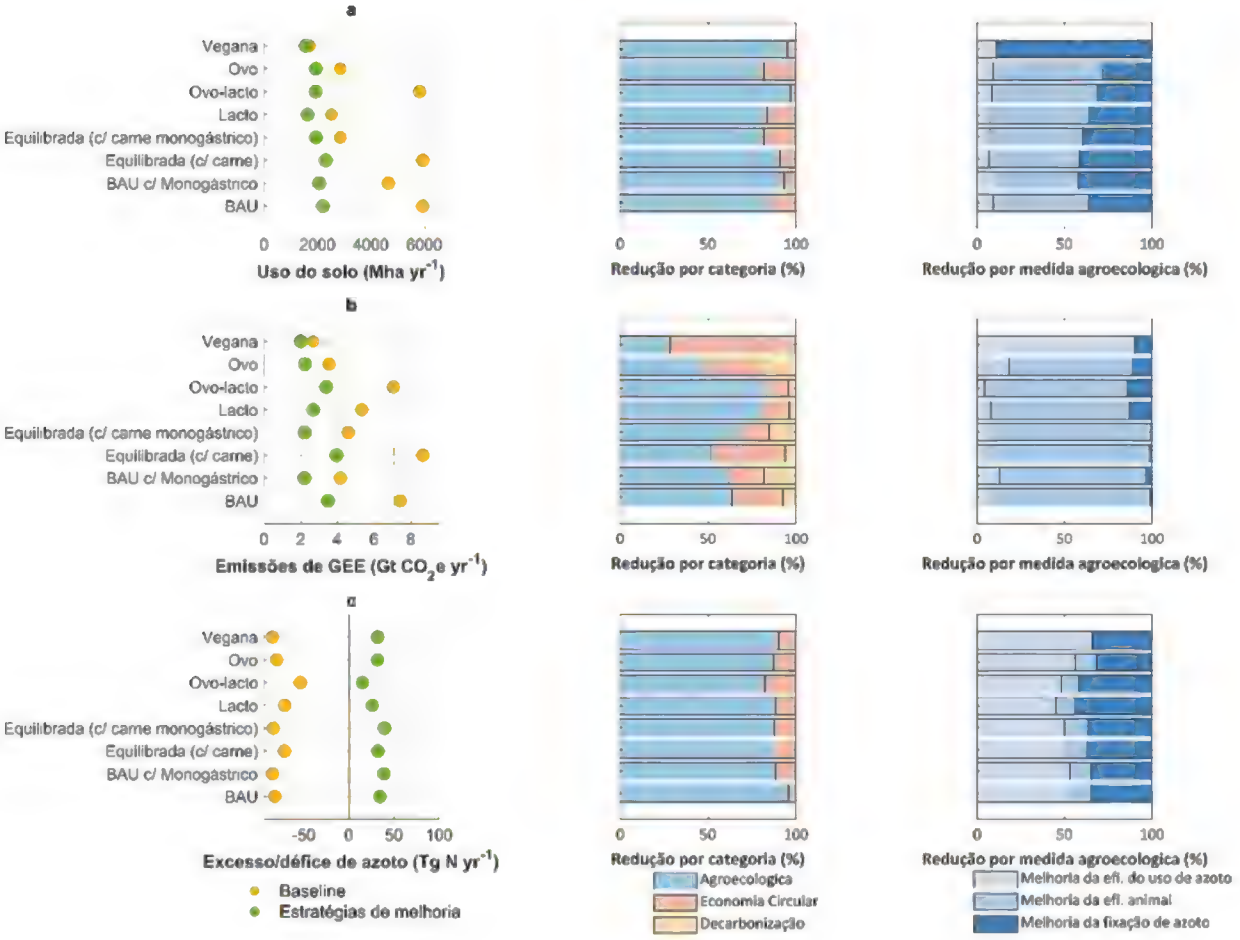



**Figura 2.** Efeito das melhorias estudadas na produção biológica para utilização de área agrícola (a), emissões de gases de efeito de estufa (b), e défice ou excesso de azoto (c). Nos gráficos da coluna da esquerda, os resultados para produção biológica como realizada atualmente estão representados a laranja, e a verde estão representados os resultados após aplicação de melhorias. A linha vertical a tracejado apresenta os valores no ano 2000. Os gráficos nas colunas central e direita apresentam as reduções em cada indicador por aplicação das melhorias estudadas.

A produção biológica, em comparação com produção convencional (ambas com a implementação de medidas de melhoria), leva a menores emissões de GEE e menores perdas de azoto no solo. Contudo, a produção

mantendo os níveis atuais de produtividade agrícola, minimiza a emissão de GEE. Finalmente, a dieta vegetariana (com leite e ovos) em produção biológica minimiza as perdas de azoto.

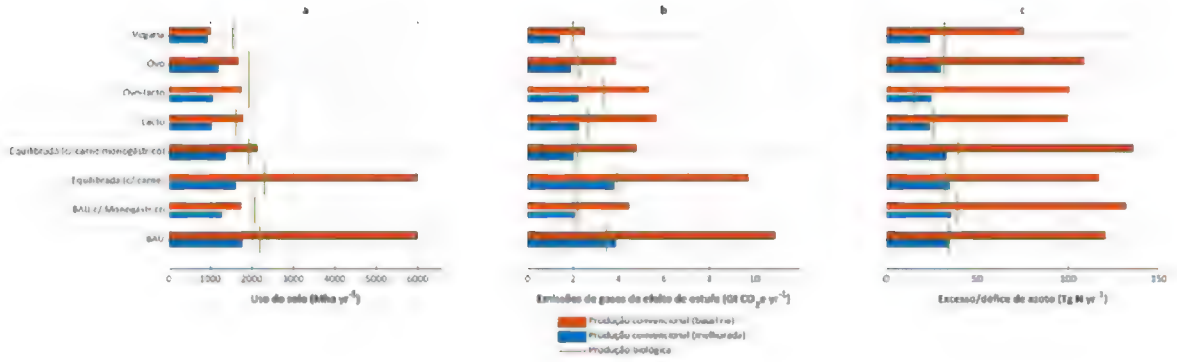



**Figura 3.** Comparação entre o sistema de produção convencional e o sistema de produção biológico considerando diferentes dietas, em termos de utilização de área agrícola (a), emissões de gases com efeito de estufa (b), e défice ou excesso de azoto (c). A linha vertical a amarelo apresenta os valores no ano 2000.

Este trabalho mostra que a sustentabilidade do sistema alimentar é possível, mesmo considerando o aumento global da população e das necessidades de alimento. Contudo, a implementação de medidas individuais não será suficiente para atingir este objetivo. A simples alteração dos hábitos alimentares é importante, mas não é suficiente para garantir a sustentabilidade do sistema alimentar. A implementação de soluções integradas, como as estudadas neste trabalho, é fundamental, mas levanta também desafios, nomeadamente de desenvolvimento tecnológico. Para se atingir a sustentabilidade do sistema alimentar é necessária uma reestruturação significativa da forma como hoje se produz.

## Referências

Erb, K.-H., Lauk, C., Kastner, T., Mayer, A., Theurl, M. C., & Haberl, H. (2016) Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. Nature Communications, 7, 11382 https://doi.org/10.1038/pj.2016.37

Morais, T. G., Teixeira, R. F. M., Lauk, C., Theurl, M. C., Winiwarter, W., Mayer, A., . Erb, K.-H. (2021) Agroecological measures and circular economy strategies to ensure sufficient nitrogen for sustainable farming. Global Environmental Change, 69(May), 102313. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102313

# Análise da Robustez de Controladores de Voo Incrementais: Estudo do Caso Boeing 747

RAFAEL A. CORDEIRO, JOSÉ R. AZINHEIRA, ALEXANDRA MOUTINHO
IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

## Resumo

As estratégias de controle incremental propõem o desenvolvimento de controladores não lineares baseados no sensoriamento da dinâmica do sistema, requerendo apenas uma modelagem parcial do mesmo. Todavia, é necessária avaliar a robustez da estratégia com relação ao modelo parcial requerido. Este trabalho avalia a robustez ao modelo a partir da análise de sensibilidade de um controlador backstepping incremental para o controle de atitude de um Boeing 747, demonstrando que a estratégia apresenta performance satisfatória mesmo com imprecisões no modelo utilizado na síntese do controlador.

## Palavras-chave

Controle incremental; Robustez; Controle de atitude; Aeronaves de asa fixa.

## Introdução

Estratégias de controle não linear têm sido propostas para a síntese de controladores de voo para reduzir o conservadorismo das soluções lineares. Entretanto, o sucesso de tais estratégias depende de modelos de elevada precisão. Ademais, devido à complexidade destes modelos, os controladores de voo são maioritariamente obtidos por estratégias de escalonamento de ganho, cuja síntese apresenta um custo de desenvolvimento elevado, especialmente devido aos ensaios de túnel de vento necessários para a obtenção do modelo aerodinâmico.

Esta pesquisa foi financiada pela União Europeia no escopo do projeto INCEPTION, com recursos do Programa de Pesquisa e Inovação EU Horizon 2020 através do acordo de No 723515. Esse trabalho teve o apoio da FCT, através do IDMEC, via LAETA, projeto UIDB/50022/2020

Na última década o chamado Controle Incremental tem ganho destaque na comunidade aeronáutica por ser uma estratégia menos conservadora e de baixa complexidade. A técnica propõe o uso de medições da derivada dos estados de um sistema como fonte de informação do seu modelo dinâmico.

O conceito dos controladores incrementais foi introduzido primeiramente em [1], e foi posteriormente formalizada em [2]. Estes controladores derivam da representação do sistema pela chamada Dinâmica Incremental, que pode ser usada na síntese de controladores não lineares através de técnicas como a Inversão Dinâmica Não linear Incremental (INDI) [2]; Backstepping Incremental (IBKS) [3] e Controle de Modos Deslizantes Incremental (ISMC) [4].

Embora as estratégias de controle incremental necessitem de um modelo parcial do sistema, a identificação deste podem ainda requerer experimentos caros e demorados, elevando o custo do seu desenvolvimento. Todavia, este custo poderia ser reduzido caso a estratégia se mostre robusta a incertezas no modelo.

Assim, este trabalho analisa a robustez das estratégias incrementais com relação ao modelo reduzido necessário para a síntese de controladores. Para tal, uma análise de sensibilidade é realizada sobre o simulador de um Boeing 747 cuja atitude é controlada utilizando a técnica de Backstepping Incremental (IBKS), onde avalia-se o efeito de erros de modelagem na performance da aeronave.

A sequência deste texto sumariza os

resultados apresentados em [5]: a Seção II introduz o conceito de dinâmica incremental e a da estrutura de controle backstepping utilizada; a Seção III trata do simulador do Boeing 747e dos atuadores disponíveis para controle; a seção IV descreve a análise de sensibilidade proposta, e mostra os resultados obtidos para manobras de volta coordenada; e a Seção V traz as conclusões dos autores.

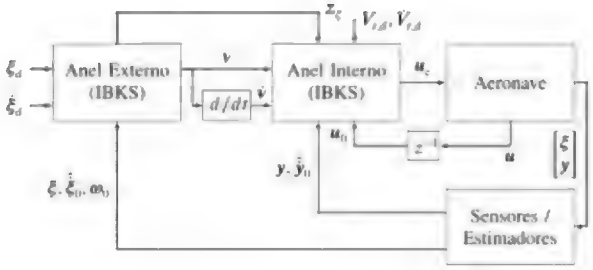



**Figura 1.** Estrutura em cascata da estratégia backstepping incremental para o controle de atitude e velocidade.

## Backstepping Incremental

Uma estratégia de controle em cascata é implementada para o controle de atitude do Boeing 747, como mostra a Fig. 1. Um anel externo é responsável pelo controle da atitude , enquanto o anel interno controla a vetor de velocidade , composto pela velocidade angular , e pela velocidade no ar (velocidade relativa entre a aeronave e o vento).

Os controladores são desenvolvidos a partir de uma estratégia backstepping baseado na dinâmica incremental, que apresenta uma formulação simplificada para sistemas não lineares.

Sejam (x , u) e (x , u) os estados e entradas do sistema nos instantes e , respectivamente, com . Assumindo-se como premissas que: 1) a dinâmica de atuação é mais veloz que a dinâmica dos estados; 2) o intervalo de tempo é suficientemente pequeno, podemos aproximar a dinâmica do sistema por [2]:

$$\dot{x} \simeq \dot{x}_0 + G(x_0)(u - u_0)\,, \qquad (1)$$

ao que se denomina de Dinâmica Incremental, onde corresponde ao modelo da Dinâmica Referente ao Efeito dos Atuadores (DREA) calculada no instante .

Portanto, o controle IBKS é obtido a partir da aplicação dos conceitos fundamentais da estratégia backstepping clássica, mas utilizando os modelos de dinâmica incremental da atitude e velocidade da aeronave , formulados como:

$$\dot{\xi} = \dot{\xi}_0 + G_\xi(\omega - \omega_0)\,; \qquad (2)$$
$$\dot{y} = \dot{y}_0 + G_y(u - u_0)\,. \qquad (3)$$

## Simulador do Boeing 747

O controlador desenvolvido é aplicado a um simulador de referência de um Boeing 747

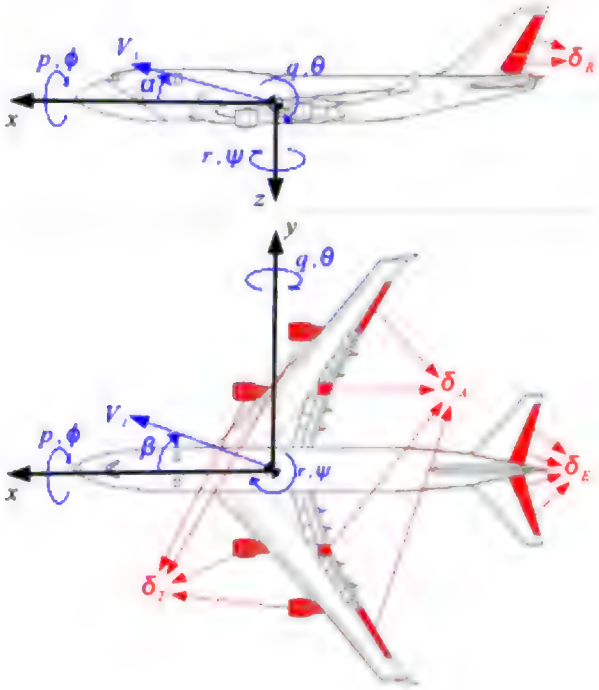


**Figura 2.** Diagrama do Boeing 747.

(B747) [6]. O B747 é um avião pesado de transporte cujos atuadores principais são: dois pares de ailerons (δA), dois pares de elevadores (δE); dois lemes (δR); e quatro motores (δT), como mostrado na Fig. 2.

Embora a estratégia incremental necessite apenas da modelagem DREA, este depende

de diversos parâmetros da aeronave, onde alguns destes variam durante o voo, e.g. massa, posição do CG, e parâmetros aerodinâmicos. Uma análise foi desenvolvida para verificar os efeitos destes parâmetros no modelo DREA, onde constatou-se que variação nas condições de voo apresentam maior influência no modelo DREA do que os parâmetros inerciais.

## Análise de Sensibilidade

Para verificar a robustez da solução, uma análise de sensibilidade foi proposta. A Fig. 3 apresenta as condições de altitude e velocidade no ar onde o B747 consegue manter voo de cruzeiro. Manobras de volta coordenada, de subida, e de aceleração foram realizadas pelo controlador IBKS em pontos selecionados do envelope de voo. A análise é repetida com o IBKS sendo sintetizado de três formas diferentes: 1) Local: o modelo DREA é linearizado na condição inicial de voo; 2) Altitude: o modelo DREA é linearizado em função da altitude, no ponto de velocidade com o menor consumo dos motores; 3) Fixa: o modelo DREA é constante, linearizado no centro do envelope.

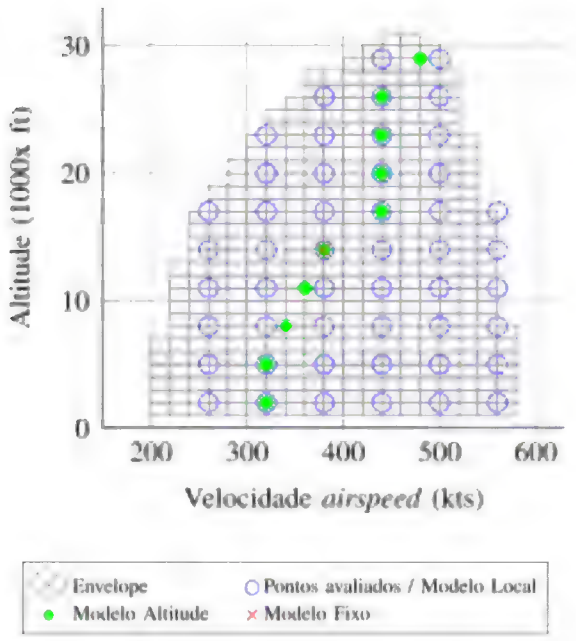



**Figura 3.** Pontos do envelope para a análise de sensibilidade.

A Fig. 4 mostra os resultados relativos a manobras de volta coordenada. Nela, foi demandado a realização de um ângulo de rolamento de 5°. As respostas obtidas para cada ponto da análise são sobrepostas, destacando como resposta nominal aquela obtida no centro do envelope. Nota-se que nos três casos o controlador IBKS realiza a manobra desejada. Ademais, a variação da condição de voo pouco influencia o desempenho do controlador, com especial destaque para a Fig. 4a onde mostra-se que mesmo com o uso de um modelo DREA constante, o controlador IBKS teve resposta similar em todos os pontos do envelope de voo, atestando a robustez da solução para incertezas na condição de voo assumida pelo controlador.

## Conclusão

Um controlador IBKS foi desenvolvido para o controle de atitude de um Boeing 747. A robustez do modelo Dinâmico Relativo ao Efeito dos Atuadores (DREA) foi avaliada em simulação a partir de uma análise de sensibilidade com relação às condições de voo.

A análise demonstra a resposta satisfatória obtida pelo controlador IBKS em todo o envelope de voo, mesmo quando sintetizado em um ponto fixo do envelope, evidenciando a robustez da estratégia com relação ao modelo DREA. A performance obtida pelo IBKS satisfaz os requisitos estabelecidos pela norma militar MIL-DTL-9490E, que é a base da norma civil SAE AS94900, atualmente em vigor.

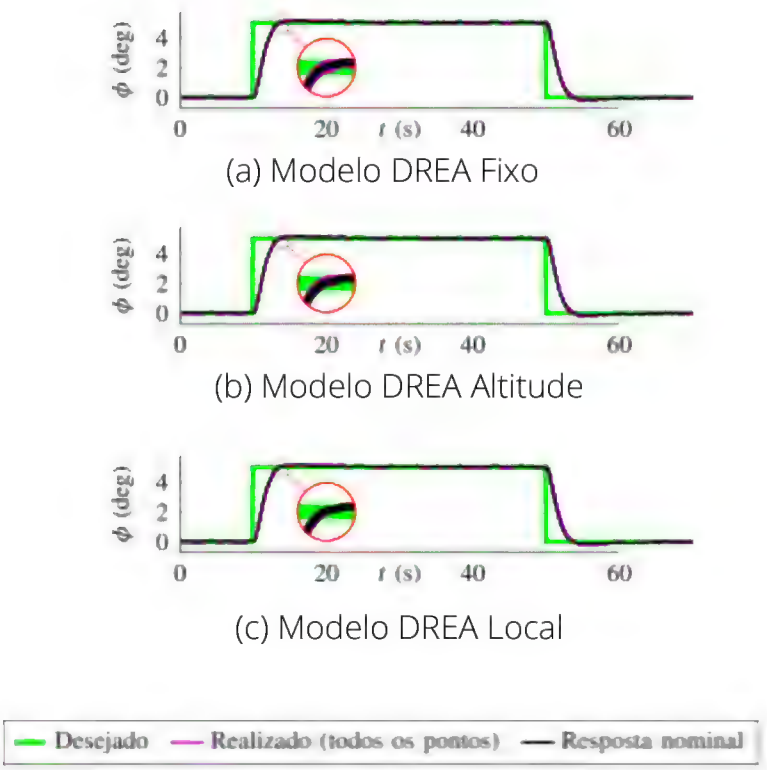



**Figura 4.** Resposta do Boeing 747 controlado por IBKS para pedidos de rolamento em múltiplas condições de voo

# Referências

[1]P. Smith, "A simplified approach to nonlinear dynamic inversion based flight control", em AIAA 23rd Atmospheric Flight Mechanics Conference, Boston, MA, E.U.A., 1998. doi: 10.2514/6.1998-4461.

[2]S. Sieberling, Q. Chu, e J. Mulder, "Robust flight control using incremental nonlinear dynamic inversion and angular acceleration prediction", Journal of guidance, control, and dynamics, v. 33, no. 6, pp. 1732–1742, 2010. doi: 10.2514/1.49978.

[3]P. Acquatella, "Robust nonlinear spacecraft attitude control: An incremental backstepping approach", Tese de mestrado, Technische Universiteit Delft, Netherlands, 2011.

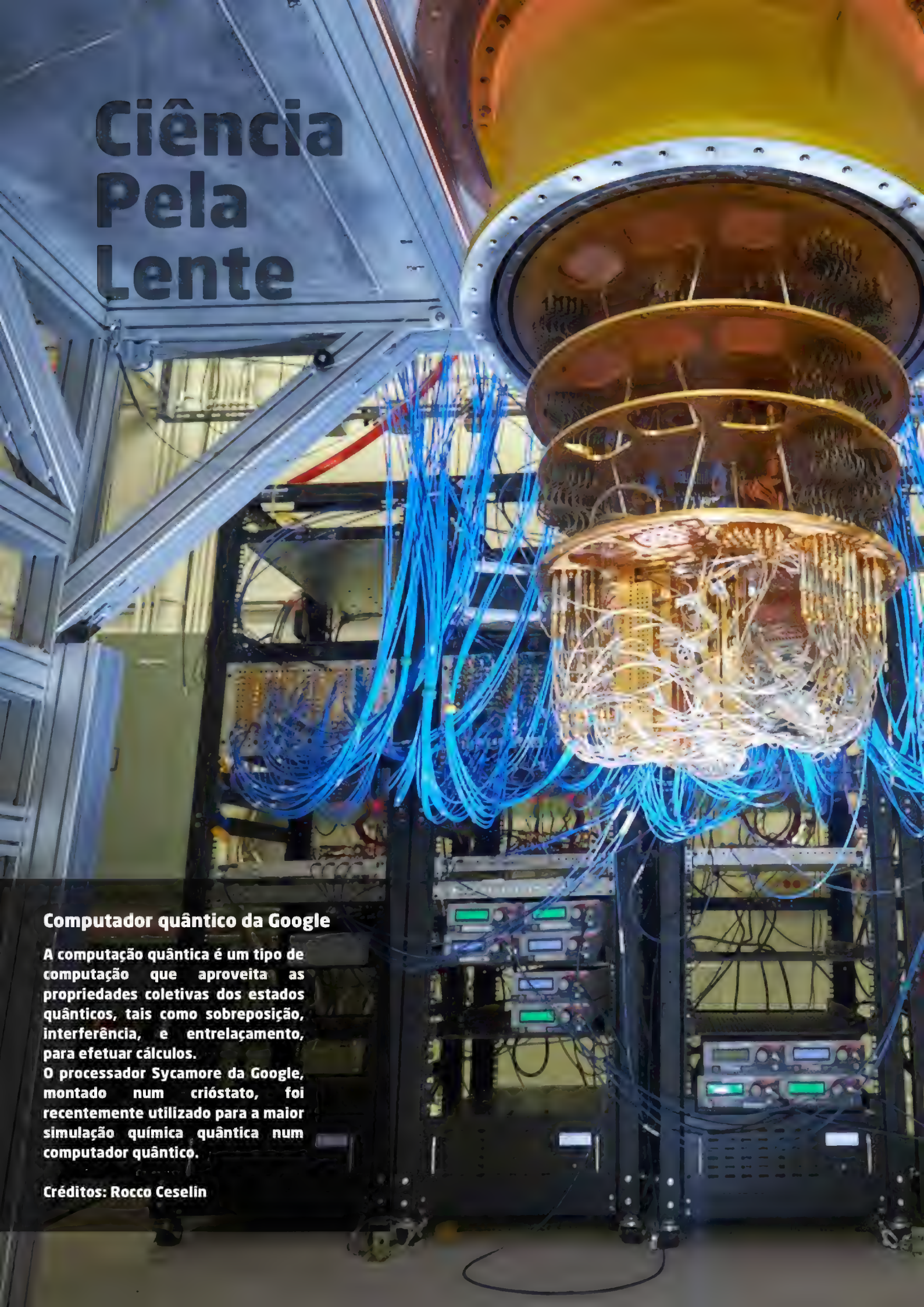
[4]X. Wang, E.-J. v. Kampen, Q. Chu, e P. Lu, "Incremental sliding-mode fault-tolerant flight control", Journal of Guidance, Control, and Dynamics, v. 42, no. 2, pp. 244-259, 2019. doi: 10.2514/1.G003497.

[5]R. A. Cordeiro, J. R. Azinheira, e A. Moutinho, "Robustness of incremental backstepping flight controllers: the boeing 747 case study", IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, v. 57, no. 5, pp. 343505, 2021. doi: 10.1109/TAES.2021.3082663.

[6]H. Smaili, J. Breeman, T. Lombaerts, e D. Joosten, "RECOVER: A benchmark for integrated fault tolerant flight control evaluation", em Fault Tolerant Flight Control: A Benchmark Challenge. Berlin, Heidelberg: Springer, 2010, pp. 171–221.
doi: 10.1007/978-3-642-11690-2

# Tecnologias da Informação e Comunicação

aeist
associação dos estudantes
instituto superior técnico



# Ciência Pela Lente

## Computador quântico da Google

A computação quântica é um tipo de computação que aproveita as propriedades coletivas dos estados quânticos, tais como sobreposição, interferência, e entrelaçamento, para efetuar cálculos.
O processador Sycamore da Google, montado num crióstato, foi recentemente utilizado para a maior simulação química quântica num computador quântico.

Créditos: Rocco Ceselin

# Metodologia para Análise da Qualidade do Sono Baseada no Conjunto de Redes Neuronais Convolucionais com Implementação em Dispositivo Portátil Sem Fios

Fábio Mendonça1,2, Sheikh Shanawaz Mostafa1,2, Fernando Morgado-Dias2,3, Gabriel Juliá-Serdá4 e Antonio G. Ravelo-García2,5
1 Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 1049-001 Lisboa, Portugal
2 Interactive Technologies Institute (ARDITI/ITI/Larsys), 9020-105 Funchal, Portugal
3 Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia, Universidade da Madeira, 9000-082 Funchal, Portugal
4Pulmonary Medicine Department, Hospital Universitario de Gran Canaria Dr. Negrín, 35010 Las Palmas de Gran Canaria, Spain
5Institute for Technological Development and Innovation in Communications, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35001 Las Palmas de Gran Canaria, Espanha

## Resumo

A qualidade do sono pode ser afetada pela ocorrência de um distúrbio relacionado ao sono e, entre esses distúrbios, a apneia obstrutiva do sono é um dos mais prevalentes. Apesar de a polissonografia ser o teste padrão para a análise do sono, é um exame caro e complexo que não está disponível para a maioria da população mundial. Desta forma, delineou-se como objetivo principal deste trabalho desenvolver um algoritmo capaz de realizar classificação automática para analisar o sinal do eletrocardiograma de derivação única, realizando uma estimativa minuto a minuto e uma estimativa geral da qualidade do sono e da apneia obstrutiva do sono. O método emprega uma técnica de coerência espectral cruzada que produz uma imagem espectrográfica que alimenta três redes neuronais convolucionais unidimensionais para o conjunto de classificação. A qualidade do sono prevista foi baseada no rácio do padrão alternado cíclico do eletroencefalograma, sendo esta uma métrica de estabilidade do sono. Foram desenvolvidos dois métodos para avaliar indiretamente essa métrica, criando duas previsões de qualidade do sono que foram combinadas com o diagnóstico da apneia do sono para alcançar a estimativa global da qualidade do sono. Verificou-se que a qualidade do sono dos 19 pacientes testados foi corretamente identificada, preconizando a significância da análise clínica. O modelo foi implementado em um dispositivo não invasivo e de fácil montagem, produzindo uma ferramenta que pode estimar a qualidade do sono e diagnosticar a apneia obstrutiva do sono na casa do paciente sem a necessidade de acompanhamento de técnico especializado.

Palavras-chave: Apneia Obstrutiva do Sono, Eletrocardiograma, Padrão Alternante Cíclico, Qualidade do Sono, Redes Neuronais Convolucionais Unidimensionais

## Introdução

A qualidade do sono é um dos fatores que mais afeta a saúde física e mental, sendo, em múltiplos países, as queixas relacionadas com o sono a segunda razão mais frequente para procurar assistência médica, apenas superada pela sensação de dor [1]. Na maior parte dos casos, a má qualidade do sono está relacionada com a presença de um distúrbio do sono, sendo a Apneia Obstrutiva do Sono (AOS) um dos distúrbios mais prevalentes na população. A polissonografia é o teste padrão para a análise do sono, examinando múltiplos sensores, como o eletrocardiograma (ECG), para obter uma elevada precisão no diagnóstico. Todavia, este teste requer que técnicos especializados realizem a análise manual (assistida por computador) de todos os eventos que ocorrem durante o período de sono, sendo o processo lento e dispendioso, tornando-o inacessível a grande parte da população mundial [2]. Desta forma, é necessário

o desenvolvimento de dispositivos capazes de realizar a análise na casa do paciente.

O sono está organizado em duas estruturas, especificamente, a macroestrutura, composta pelos estados do sono, e a microestrutura, definida pelos eventos fásicos e transitórios que ocorrem na atividade elétrica do cérebro [3]. A estabilidade do sono pode ser medida analisando o Padrão Alternante Cíclico (PAC) que ocorre na microestrutura, sendo este composto por uma fase de ativação (fase A) seguida de uma fase quiescente (fase B). A razão entre a duração total dos ciclos do PAC e a duração total do sono sem movimento rápido dos olhos é conhecida como o rácio PAC, e este pode ser interpretado em um contexto mais abrangente para definir a qualidade do sono de acordo com o nível de instabilidade.

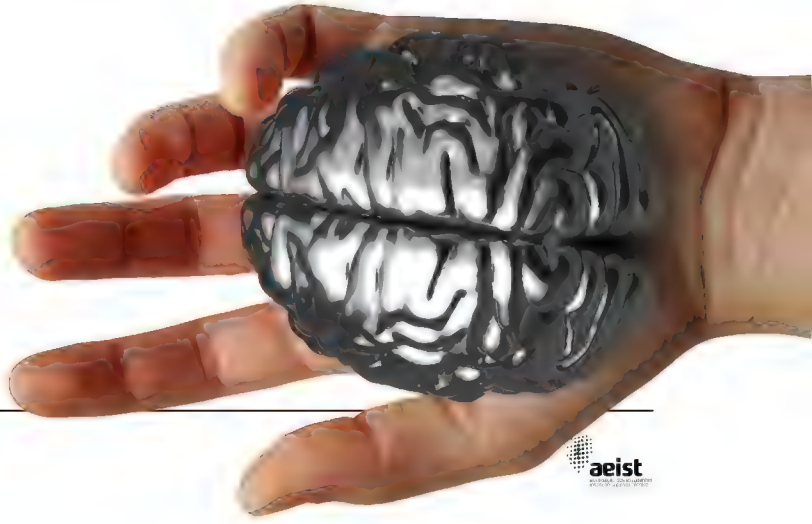
Neste trabalho foi usado o sinal do ECG de derivação única de forma a criar uma Imagem Espectrográfica (IE) em que cada linha da imagem representa um minuto da análise do sinal espectrográfico criado a partir da informação produzida pelo sensor. A primeira abordagem para estimar a qualidade do sono realizou a análise de cada linha da imagem (fazendo uma estimação indireta do PAC) enquanto a segunda examinou a média de todas as linhas. Tendo em conta a forte correlação entre a AOS e o PAC [4], uma terceira análise foi produzida de forma e examinar cada linha da IE para detetar eventos da AOS e diagnosticar a presença deste distúrbio. A estimação final da qualidade do sono foi realizada combinando as previsões das duas primeiras abordagens com a deteção da presença de AOS.

O último ponto desta investigação foi a implementação do algoritmo desenvolvido em um dispositivo portátil sem fios.

## Metodologia

O trabalho foi desenvolvido através da análise dos sinais de pacientes de duas bases de dados. A CAP Sleep Database [3] da Physionet foi usada para produzir os modelos que estimam a qualidade do sono (examinando 19 pacientes). Por outro lado, uma base de dados produzida no Hospital Universitário de Gran Canaria Dr. Negrín foi empregue para desenvolver o modelo que estima a presença de AOS (examinando 70 pacientes) e posteriormente usou-se o conceito de análise cruzada de bases de dados para realizar a análise nos pacientes da primeira base de dados.

O diagrama de blocos do algoritmo desenvolvido é apresentado na Figura 1. Este pode ser interpretado como tendo dois passos. O primeiro realiza o pré-processamento dos sinais (reamostragem e estandardização), sendo de seguida determinada a conexão entre a Respiração Derivada do ECG (RDE) e série N-N usando uma técnica de Densidade Espectral Cruzada (DEC) aplicada a janelas com duração de sete minutos (com deslocamento entre janelas de um minuto). Ao agrupar o resultado da DEC de todas as janelas produziu-se uma IE (cada linha da IE corresponde a uma janela) que representa uma entrada de um minuto com informações do passado e futuro sobrepostas. Esta IE representa uma matriz tempo-espaço, onde cada linha contém a informação da análise em frequência.



No segundo passo, a IE foi usada para alimentar três Redes Neuronais Convolucionais unidimensionais (1D-RNC). Duas realizaram a análise linha a linha da IE (a primeira foi usada para prever a qualidade do sono enquanto que a segunda realizava o diagnóstico da AOS) e a terceira examinou a média de todas as linhas (para prever a qualidade do sono). As previsões dos três classificadores foram seguidamente combinadas através da estratégia de votação por maioria (a saída de cada classificador foi considerada como um voto e o sistema escolhe a classe de saída com mais votos), realizando o conjunto de redes neuronais convolucionais que prevê a qualidade do sono.

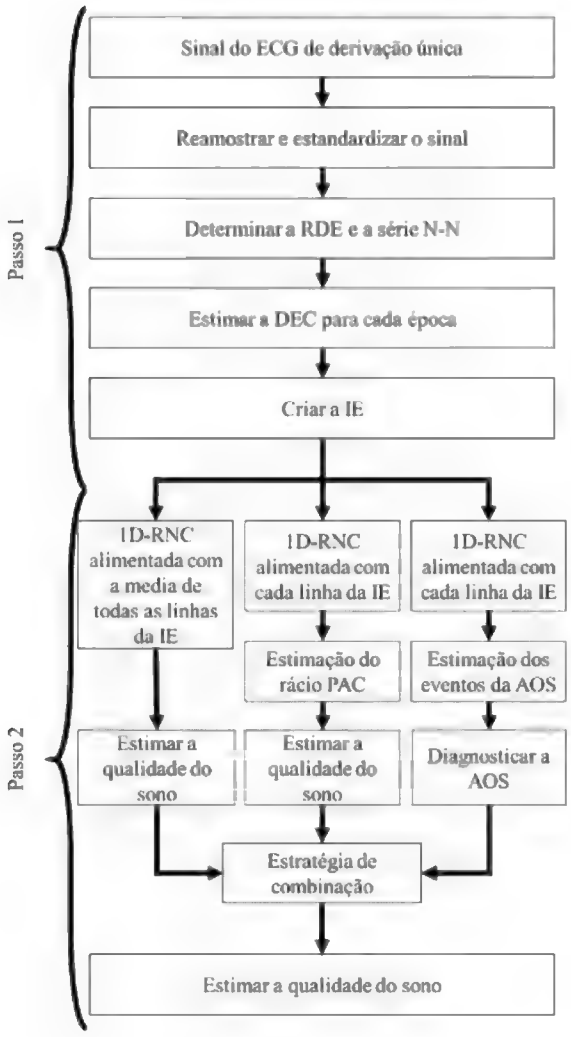



**Figura 1.** Diagrama de blocos do algoritmo desenvolvido.

O último ponto foi a implementação do algoritmo no dispositivo portátil sem fios apresentado na Figura 2, tendo este dispositivo sido desenvolvido para este trabalho. O dispositivo é composto por duas unidades, a primeira realiza a monitorização do paciente, estando presa por uma abraçadeira o braço do mesmo, e envia os dados por Bluetooth para a segunda, que realiza o processamento e apresenta os resultados ao utilizador através de uma interface gráfica.

## Resultados

Os três classificadores desenvolvidos foram otimizados através de uma pesquisa em grelha, sendo apresentado na Figura 3 um exemplo de um dos classificadores.

Na Tabela 1 é apresentado o desempenho dos algoritmos que realizaram a análise linha a linha (denotando minuto a minute) da IE. Os resultados para a estimação indireta do PAC são particularmente relevantes, tendo em conta que o acordo mútuo entre especialistas que examinam os mesmos sinais do eletroencefalograma (sinal padrão para análise do PAC) varia entre 69% e 78% [5].

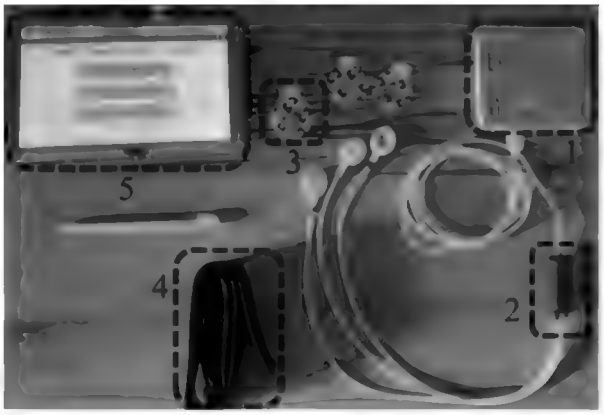



**Figura 2.** Dispositivo portátil sem fios desenvolvido para implementar o algoritmo apresentado neste trabalho. 1- Unidade de monitorização, 2- Sensor de ECG, 3- Elétrodo, 4- Braçadeira, 5- Unidade de processamento.

Também os resultados para a deteção dos eventos da AOS estão entre os melhores reportados no estado da arte (baseados em ECG) [6]. A previsão da qualidade do sono obteve o melhor resultado possível, classificando corretamente todos os 19 pacientes que foram examinados, usando a metodologia leave one out.

**Tabela 1.** Desempenho dos algoritmos que realizaram a análise linha a linha da IE.

| | Métrica de desempenho (média e intervalo de confiança a 95%) | | |
|---|---|---|---|
| | Precisão (%) | Sensibilidade (%) | Especificidade (%) |
| PAC | 70,5 (69,9-71,1) | 73,2 (71,7-74,6) | 69,8 (69,3-70,4) |
| AOS | 76,4 (75,2-76,8) | 72,7 (70,9-73,0) | 77,2 (75,7-78,6) |

## Conclusão

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver um método capaz de avaliar a qualidade do sono e a presença de AOS utilizando apenas o sinal de um sensor e implementar o método em um dispositivo portátil sem fios não invasivo e de simples automontagem, permitindo que o exame seja realizado no domicílio do paciente.

Verificou-se que o desempenho das estimativas da qualidade do sono e da deteção da AOS, produzidas neste trabalho, são superiores à maioria dos métodos disponíveis no estado da arte e que o algoritmo desenvolvido foi implementado com sucesso no dispositivo concebido para este trabalho, sendo este dispositivo capaz de monitorizar o paciente.

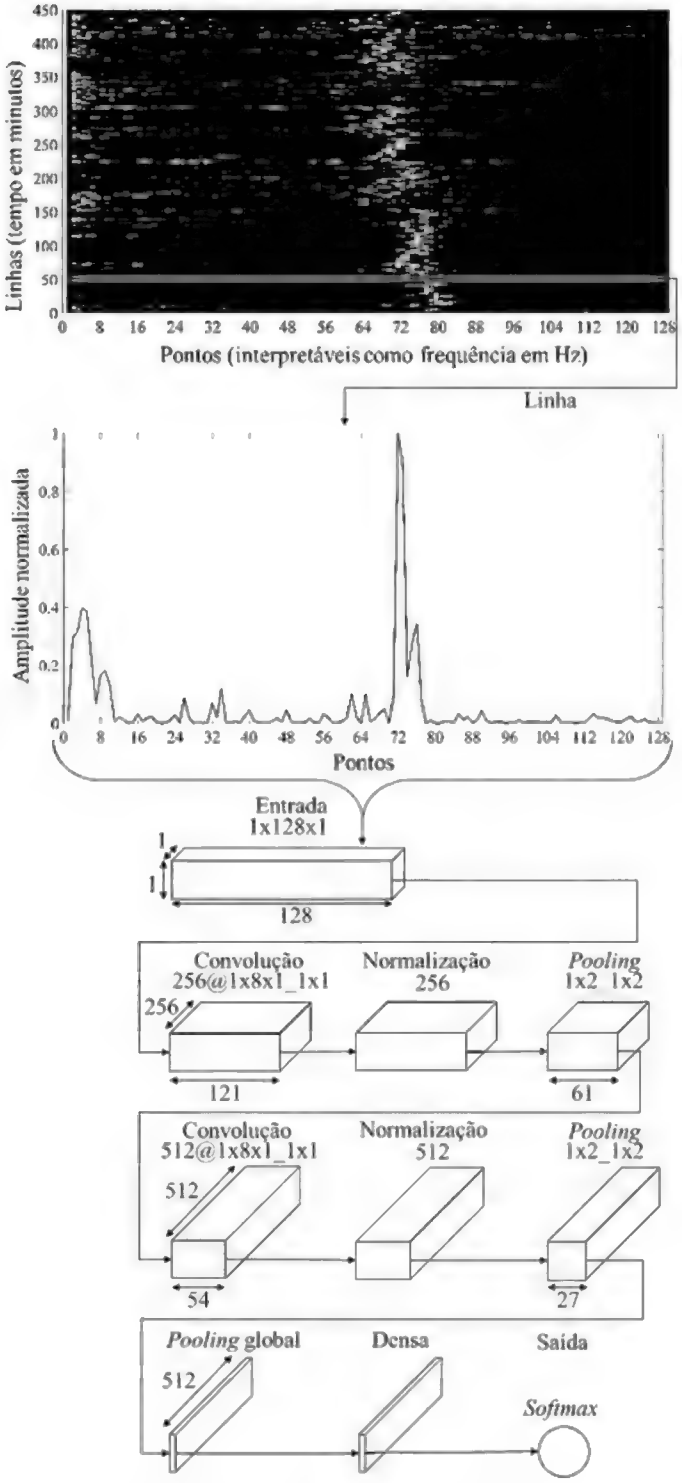



**Figura 3.** Exemplo da análise de uma linha da IE pelo classificador que estima o PAC.

## Referências


[1] M. Mahowald e C. Schenck, «Insights from studying human sleep disorders», Nature, vol. 437, n. 7063, pp. 1279–1285, 2005

[2] D. Hillman, A. Murphy, e L. Pezzullo, «The Economic Cost of Sleep Disorders», Sleep, vol. 29, n. 3, pp. 299–305, 2006

[3] M. Terzano et al., «Atlas, rules, and recording techniques for the scoring of cyclic alternating pattern (CAP) in human sleep», Sleep Medicine, vol. 2, n. 6, pp. 537–553, 2001

[4] L. Chen, C. Liu, Z. Ye, B. Wang, e S. He, «Assessment of sleep quality using cardiopulmonary coupling analysis in patients with Parkinson's disease», Brain and Behavior, pp. 1–6, 2018, doi. 10.1002/brb3.970.

[5] A. Rosa, G. Alves, M. Brito, M. Lopes, e S. Tufik, «Visual and automatic cyclic alternating pattern (CAP) scoring: inter-rater reliability study», Arquivos de Neuro-Psiquiatria, vol. 64, n. 3A, pp. 578–581, 2006

[6] F. Mendonça, S. Mostafa, A. Ravelo-García, F. Morgado-Dias, e T. Penzel, «A Review of Obstructive Sleep Apnea Detection Approaches», IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, vol. 23, n. 2, pp. 825–837, 2019

# Interfaces cérebro-computador com realidade virtual para reabilitação do AVC

Dr. Athanasios (Thanos) Vourvopoulos, PhD
- Professor Auxiliar Convidado no Departamento de Bioengenharia do Instituto Superior Técnico (IST), Universidade de Lisboa
- Investigador do Evolutionary Systems and Biomedical Engineering Lab (LaSEEB), Institute for Systems and Robotics (ISR)
Email: athanasios.vourvopoulos@tecnico.ulisboa.pt
Twitter: @avourvopoulos

Parte da nossa pesquisa no "Evolutionary Systems and Biomedical Engineering Lab" (LaSEEB) envolve o estudo de potenciais corticais que podem ser usados para transmitir informações sobre a atividade cerebral do usuário para um sistema de computador (por exemplo, interfaces de usuário, ambientes virtuais ou dispositivos robóticos), e desenvolver métodos que permitirão melhorar a forma como os humanos interagem com a tecnologia para aumentar a sua qualidade de vida e, especificamente, contribuir para a recuperação após um Acidente vascular cerebral (AVC).

## Por quê intervir no AVC?

O AVC é uma das principais causas de incapacidade a longo prazo em adultos, em todo o mundo, com um número crescente de sobreviventes do AVC sofrendo de sequelas cognitivas e motoras graves, a cada ano. Em Portugal, nos próximos 20 anos, estima-se haver um aumento de 31% dos acidentes vasculares cerebrais. O AVC resulta em perdas de independência no quotidiano das pessoas, com diminuição da capacidade de realizar tarefas de autocuidado e diminuição da participação em atividades sociais. Tal tem um impacto grande a nível pessoal, mas também a nível social e no próprio sistema público de saúde.

## Interface do cérebro com computadores:

As interfaces cérebro-computador (BCIs) podem ser descritas como sistemas de comunicação que são capazes de estabelecer um canal alternativo, não muscular, entre a atividade cerebral do usuário e um computador. Tal pode ser alcançado, explicitamente, permitindo que os usuários emitam comandos diretos em dispositivos, sem envolvimento físico de qualquer tipo (por exemplo, digitação ortográfica, controle de cadeira de rodas) ou implicitamente, monitorizando o estado de um usuário (por exemplo, o nível de carga de trabalho "workload", o seu estado de atenção) para se adaptar de forma proativa uma interface de usuário, um ambiente virtual ou um dispositivo robótico. Sem dúvida, os BCIs não só provaram ser ferramentas importantes no domínio médico como interfaces assistivas ou restaurativas, mas também introduziram uma forma única de paradigma de interação humano-computador (HCI). Nos últimos anos, as BCIs progrediram como uma área de pesquisa emergente nos campos de HCI e sistemas interativos, devido aos avanços do "machine learning", métodos de processamento de sinal, mas também devido à introdução de sistemas de eletroencefalografia (EEG) de baixo custo. Estes avanços permitem que a tecnologia BCI seja acessível a uma gama mais ampla de usuários, dentro e fora do laboratório, mas também no domínio médico, aproximando-se da integração com a tecnologia vestível. Consequentemente, os BCIs fornecem uma ampla gama de possibilidades na maneira como os usuários interagem com um sistema de computador (por exemplo, interfaces neuroadaptativas), formando novas

perspectivas de interação interessantes. Atualmente, são várias as empresas de Silicon Valley como o Facebook (incluindo Oculus VR), Google, Neuralink e CTRL-labs (adquirida pelo Facebook por 1 bilhão de dólares), que investiram em tecnologia BCI e montaram grupos com o objetivo principal de construir interfaces neurais que permitirão uma comunicação viva-voz com as suas plataformas, incluindo os jogos controlados pelo cérebro da Valve Corporation.

**Figura 1.** Robô controlado pelo cérebro no LaSEEB / Instituto de Sistemas e Robótica (source LaSEEB)

## A função da Realidade Virtual e das BCIs na Reabilitação do AVC

As doenças cerebrais representam um grande fardo socioeconómico em todo o mundo, pelo que grandes esforços estão a ser feitos para o desenvolvimento de técnicas de restauração cerebral. Recentemente, acumularam-se evidências crescentes do impacto positivo das técnicas de realidade virtual (RV) na recuperação após o AVC. A RV é capaz de incorporar, com eficácia, estratégias de reabilitação, tais como intensidade, frequência e duração da terapia, em uma abordagem nova e de baixo custo na população com AVC. No entanto, os pacientes com níveis mais baixos de controlo motor não podem beneficiar totalmente do treinamento de RV por meio de interfaces tradicionais (teclado, mouse, joystick, rastreamento de mão, etc.), uma vez que requer movimento voluntário. Assim, a ideia de treinar diretamente o sistema nervoso central foi estabelecida com o uso de BCIs. Com as BCIs, os pacientes podem usar a sua mente para controlar um corpo virtual em RV sem a necessidade de movimento físico. Desta forma, somos capazes de induzir ilusões de incorporação física (a sensação de que os membros virtuais são parte do seu corpo físico) que poderiam potencialmente ajudar os pacientes a participarem de um treino de reabilitação motora. Assim, os BCIs podem funcionar com uma porta dos fundos para a ativação de circuitos neurais motores que não são estimulados por meio de técnicas tradicionais de reabilitação.

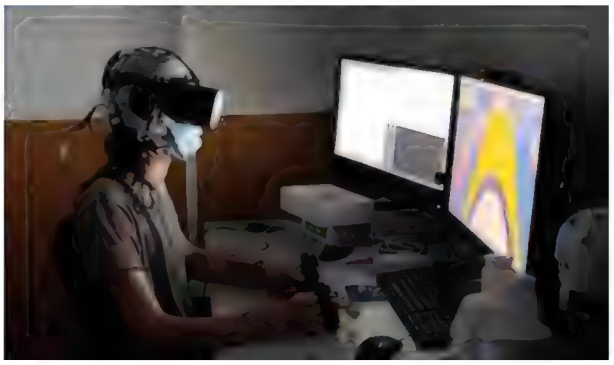


**Figura 2.** NeuRow: realidade virtual controlada por uma interface cérebro-computador para reabilitação do AVC (source LaSEEB)

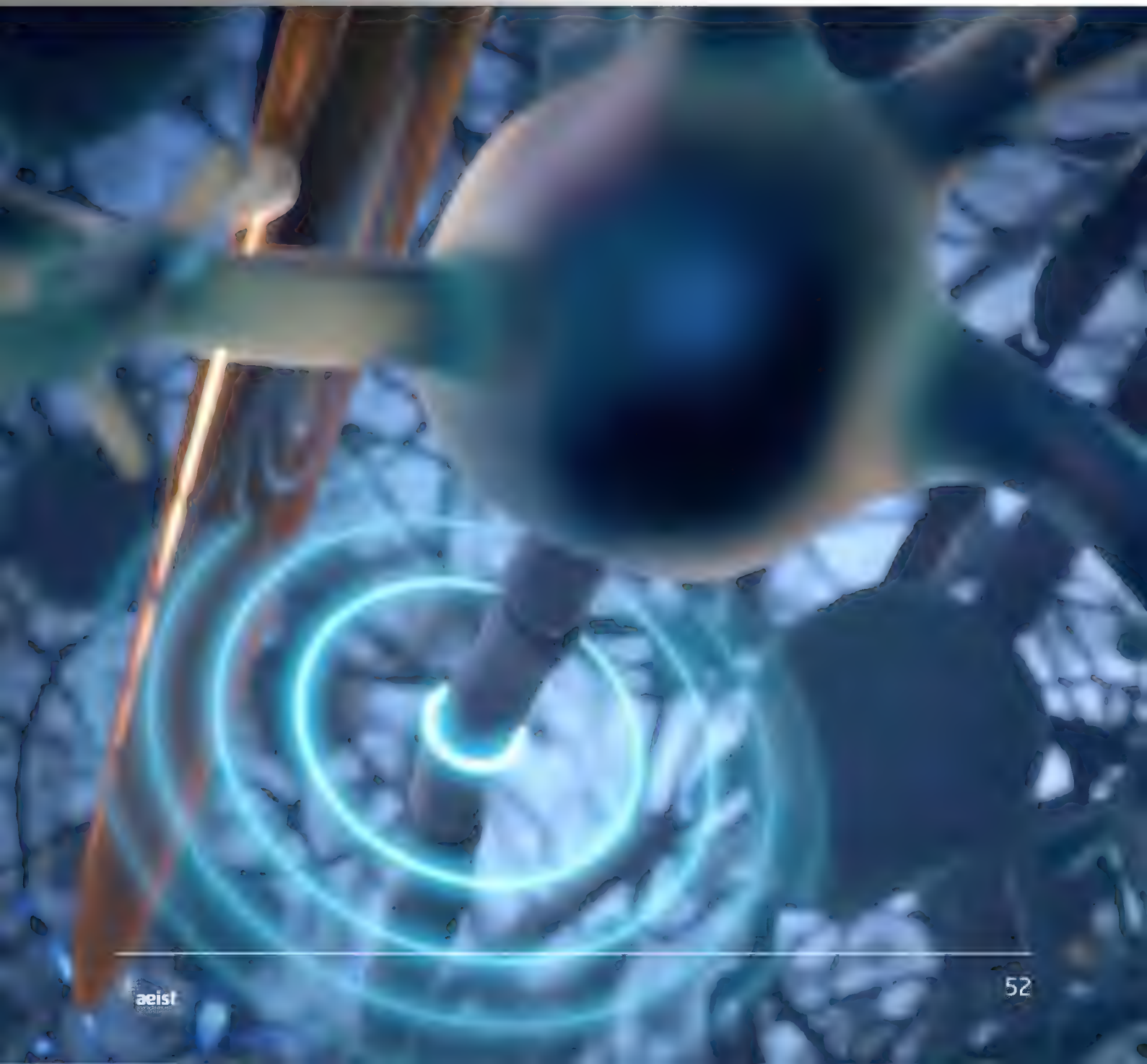
Até ao momento, somos um dos poucos laboratórios em todo o mundo e o único em todo o país que utiliza tecnologia de sensoriamento cerebral com RV para treino e reabilitação. Especificamente, uma das nossas ferramentas BCI-VR é o NeuRow, um ambiente de treino de RV controlado pelo cérebro para reabilitação de membros superiores. O NeuRow já foi testado quanto à sua eficácia em um paciente com AVC, num ambiente clínico, bem como tem sido utilizado em outros centros de pesquisa e hospitais em Portugal e na Espanha para treinar sobreviventes de AVC.

**Autor:**

Dr. Athanasios (Thanos) Vourvopoulos, PhD
- Professor Auxiliar Convidado no Departamento de Bioengenharia do Instituto Superior Técnico (IST), Universidade de Lisboa
- Investigador do Evolutionary Systems and Biomedical Engineering Lab (LaSEEB), Institute for Systems and Robotics (ISR)
Email: athanasios.vourvopoulos@tecnico.ulisboa.pt
Twitter: @avourvopoulos

## Referências

[1] https://www.forbes.com/sites/rachelsandler/2019/09/23/facebook-acquires-brain-computing-startup-ctrl-labs/
[1] https://www.ign.com/articles/what-valves-gabe-newell-thinks-brain-computer-interfaces-will-do-for-gaming



# Dimensionamento de Populações de Algoritmos Evolutivos Celulares

Texto por: Carlos M. Fernandes, Nuno Fachada

Trabalho científico descrito: Fernandes, C.M., Fachada, N., Laredo, J.L.J., Merelo, J.J. & Rosa, A.C. (2020). Population sizing of cellular evolutionary algorithms. Swarm and Evolutionary Computation, 58, 100721. https://doi.org/10.1016/j.swevo.2020.100721

Os algoritmos evolutivos (AE) são uma classe de algoritmos de otimização que usa uma população de soluções candidatas (indivíduos) e estratégias darwinistas de seleção e recombinação para procurar uma solução ótima ou satisfatória para um determinado problema computacional. Os algoritmos evolutivos celulares (AECs) são um caso particular dos AEs e caracterizam-se por terem a população estruturada num grafo cujos vértices são os indivíduos e as arestas as recombinações permitidas. Quando não existem restrições de reprodução e a todos os indivíduos é permitido o cruzamento com qualquer outro indivíduo da população, diz-se que o AE é panmítico (de panmixia, cruzamento aleatório).

Por via de regra, os AECs, quando comparados com AEs panmíticos, apresentam maiores tempos de aquisição. Neste contexto, entende-se tempo de aquisição como o número de gerações (ou iterações) até à convergência, isto é, entre o início do processo evolutivo e o momento em que população é constituída exclusivamente por cópias exatas de uma única solução.

Estudos anteriores concluíram também que os AECs encontram a solução ótima com mais frequência. No entanto, a maior parte desses estudos não tem em conta a dimensão da população, não obstante ser esse um dos fatores com maior impacto na precisão e na velocidade de convergência dos algoritmos baseados em populações de soluções.

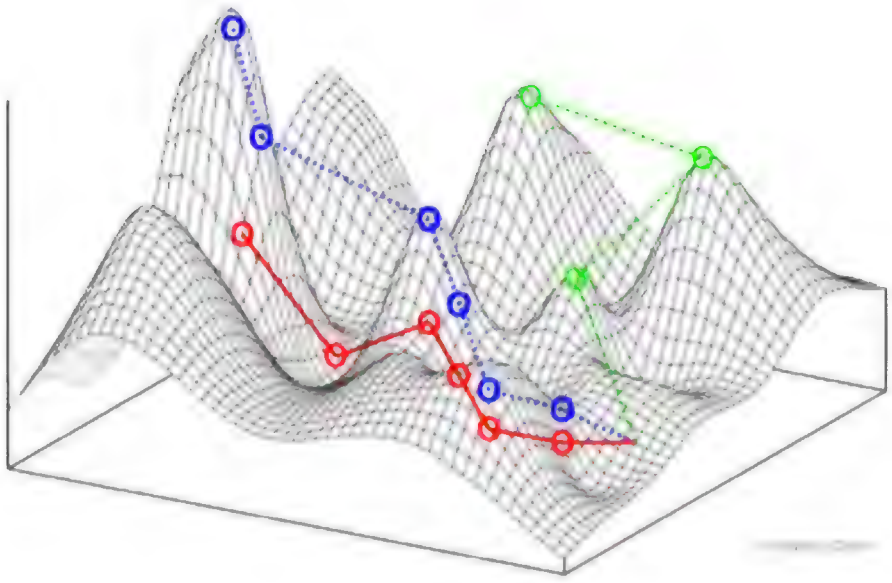


**Figura 1.** Exemplo de paisagem de um problema em 3D na qual uma população de soluções evolve em busca da solução óptima. Imagem original de Randy Olson (CC BY-SA 3.0).

Este artigo propõe estimativas para a dimensão ótima da população de AECs (aquela que maximiza o desempenho do algoritmo) estruturadas em grafos regulares e aleatórios com diferentes valores médios para os graus de ligação. Foram testadas diversas parametrizações dos algoritmos num conjunto de problemas com nível de dificuldade regulável. Os resultados e a análise estatística demonstram a importância de configurar os algoritmos com populações de dimensão apropriada ao problema em causa.

Com vista a entender melhor os mecanismos que operam por trás das configurações mais eficientes, foi feito um estudo genealógico dos algoritmos e avaliado o impacto de cada indivíduo na população ao longo do processo evolutivo. Mais concretamente, os tempos de aquisição de eventos (TAEs) foram medidos e a sua distribuição determinada. Entende-se por TAE de um individuo i na geração t como o número de descendentes desse indivíduo presentes nessa mesma geração.

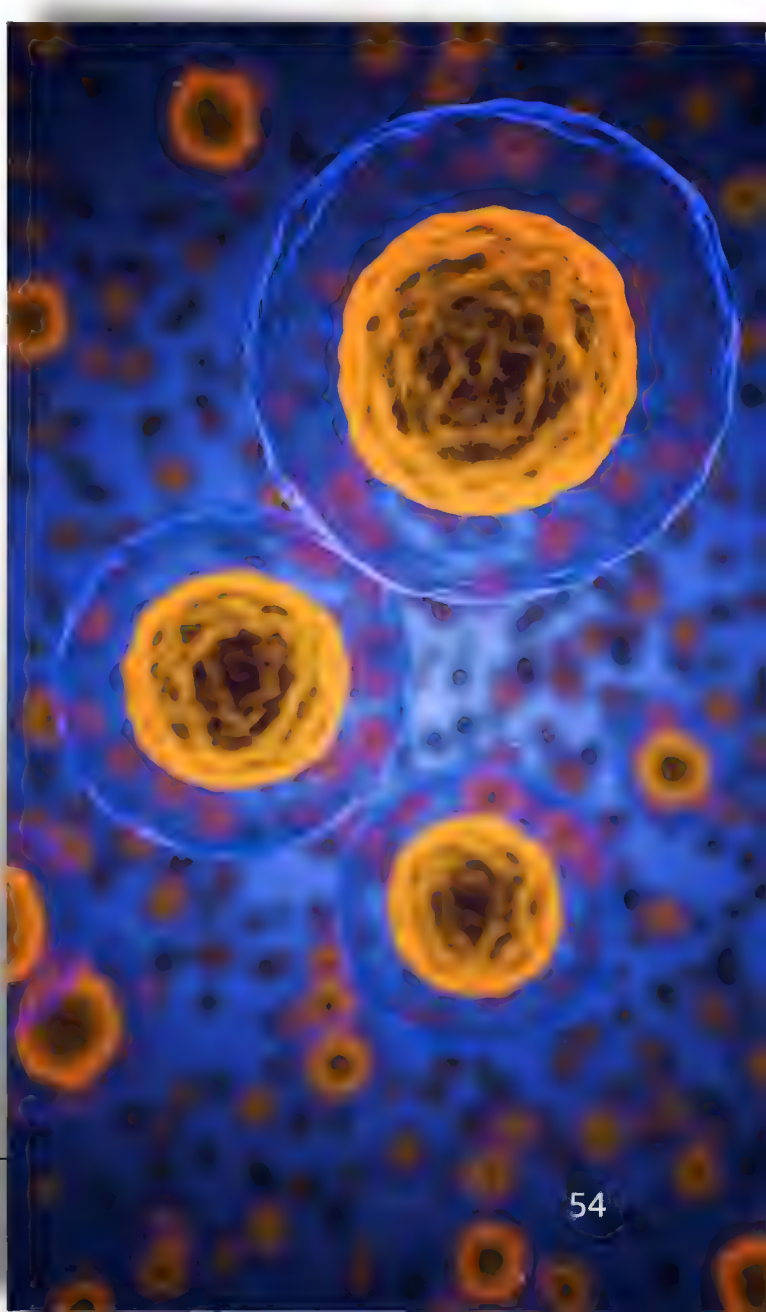
As distribuições de TAEs confirmam os resultados obtidos por Whitacre et al. [1]: os AECs impõem um desvio nas «caudas» das distribuições e os TAEs elevados (i.e., valores próximos da dimensão da população) ocorrem com menos frequência quando o grau médio dos grafos é menor.

No entanto, nem todas as conclusões obtidas por Whitacre et al. [1] foram confirmadas pelo presente estudo. Os TAEs foram sujeitos a uma análise estatística mais rigorosa e verificou-se que, ao contrário do que é afirmado pelos investigadores em questão, não se pode inferir uma lei de potências na distribuição de TAEs: em geral, tanto uma lei de potências como uma distribuição log-normal (1) adaptam-se aos dados com igual probabilidade. Um dos resultados mais significativos deste estudo refere-se à relação entre os limites superiores dos TAEs e a dimensão ótima da população: nos problemas com paisagens de aptidão decetivas, os TAEs têm como limite superior precisamente a dimensão de população ótima determinada para o respetivo algoritmo e problema. Um estudo mais abrangente é necessário para confirmar a universalidade desta regra, mas, a verificar-se, os TAEs poderiam ser usados para determinar as dimensões das populações, em detrimento de outros métodos com maior custo computacional.

(1) A distribuição log-normal é uma distribuição de probabilidade contínua na qual o logaritmo da variável aleatória é normalmente distribuído.

## Referências

[1] J.M. Whitacre, R.A. Sarker, Q. Pham, Making and breaking power laws in evolutionary algorithms, Memet Comput 1 (2) (2009) 125–137.



# Cartoon

Jiaqi Yu, LEIC

# LOADING...

## RePAIR

Reconstruindo o passado: Inteligência Artificial e Robótica Encontram-se com o Património Cultural

Centro de investigação: ISR – Instituto de Sistemas e Robótica

Datas: 06/2021 até 11/2024

"O nosso objectivo com este projeto é desenvolver uma tecnologia inovadora para praticamente eliminar uma das etapas mais trabalhosas e frustrantes da investigação arqueológica, nomeadamente a reconstrução física de obras de arte estilhaçadas. De facto, inúmeros vasos, ânforas, frescos e outros artefactos antigos, em todo o mundo, não sobreviveram intactos e foram recuperados em escavações como grandes coleções de fragmentos. A reconstrução de pequenos artefactos é tipicamente feita por operadores experientes, possivelmente com a ajuda de software dedicado, mas quando o número de fragmentos é grande (digamos, da ordem dos milhares) a restauração manual ou assistida por computador é simplesmente desesperada. Ao desenvolver e integrar tecnologias inovadoras nos campos da robótica, visão informática e inteligência artificial, prevemos um futuro onde a arqueologia possa lidar eficazmente com problemas de reconstrução a uma escala sem precedentes e ser capaz de trazer de volta à vida obras de arte antigas e obras-primas que de outra forma permaneceriam quebradas em pedaços para sempre. Especificamente, pretendemos desenvolver um sistema robótico inteligente que irá processar, combinar e montar fisicamente grandes artefactos fraturados de forma autónoma numa fração do tempo que os humanos demoram a fazer. O nível de ambição da nossa proposta coloca vários desafios que não podem ser enfrentados de forma satisfatória com tecnologias de prateleira, e por isso vamos desenvolver soluções totalmente novas que irão alargar as fronteiras da investigação nos campos da robótica e da visão por computador. O nosso sistema será testado através de estudos de casos icónicos do sítio de Pompeia, património mundial da UNESCO, e um resultado tangível do projeto será a restauração de dois frescos de renome mundial que estão agora estilhaçados em milhares de fragmentos e esquecidos nos armazéns."

saiba mais

## DiadES

Avaliar e promover serviços do ecossistema de peixes diádromos num cenário de alterações climáticas

Centro de investigação: MARETEC - Centro de Ciência e Tecnologia do Ambiente e do Mar do IST

Datas: 2018 até 2022

O projecto DiadES visa a avaliação e promoção dos serviços do ecossistema providenciados pelos peixes diádromos à escala do Atlântico pela criação de ferramentas inovadoras que permitam uma gestão transnacional nas condições climáticas presentes e futuras. É financiado pelo programa comunitário Interreg - Espaço Atlântico do Fundo Europeu para o Desenvolvimento Regional, tendo uma dotação orçamental de 2,2 M€ e uma vigência temporal até 2022.
O MARETEC/IST é parceiro do DiadES, estando envolvido na valorização económica dos serviços de ecossistema providenciados pelos peixes diádromos. Lidera, em colaboração com o INRAE, o desenvolvimento de ferramentas de consciencialização da importância dos peixes diádromos e das recomendações de política para uma gestão de longo prazo e a larga escala.

saiba mais

## CAPTURE

Shuttle drone para lançamento e captura em cenários cooperativos e não cooperativos

Centro de investigação: ISR – Instituto de Sistemas e Robótica

Datas: 03/2021 até 03/2024

Este projecto visa abordar vários desafios científicos e tecnológicos para a utilização de lançadores de vaivéns para efectuar manobras de lançamento e captura de outros veículos ou objectos. Um primeiro cenário é considerado onde as naves lançadoras cooperam com os veículos a serem lançados ou capturados, quer transmitindo informação sobre o seu movimento planeado ou sincronizando activamente o seu movimento para facilitar a manobra. Abordar este cenário permite a concepção de veículos especializados para uma determinada tarefa, por exemplo, tendo zangões de asa fixa com longa resistência, ao mesmo tempo que permite a descolagem e aterragem vertical destes veículos com zangões de vaivém. Um segundo cenário envolve o lançamento e a captura de objectos ou outros drones, que podem não cooperar com os lançadores de vaivéns, quer passivos quer activos. Neste caso, as lançadeiras podem actuar como medida de segurança para remover drones ou objectos de áreas restritas que possam evitar activamente ser capturados.
A abordagem destes cenários levanta desafios científicos e tecnológicos interessantes, incluindo: planeamento óptimo e cooperativo de trajectórias para uma equipa de veículos heterogéneos; controlo cooperativo, híbrido e distribuído para manobras críticas de rendezvous; estimativa cooperativa e distribuída do movimento das naves lançadoras, outros veículos, e o ambiente circundante; bem como lidar com estratégias de estimativa, controlo e planeamento baseadas em jogos diferenciais para o cenário não cooperativo.

saiba mais

## DiadES

Avaliar e promover serviços do ecossistema de peixes diádromos num cenário de alterações climáticas

Centro de investigação: MARETEC - Centro de Ciência e Tecnologia do Ambiente e do Mar do IST

Datas: 2018 até 2022

O projecto DiadES visa a avaliação e promoção dos serviços do ecossistema providenciados pelos peixes diádromos à escala do Atlântico pela criação de ferramentas inovadoras que permitam uma gestão transnacional nas condições climáticas presentes e futuras. É financiado pelo programa comunitário Interreg - Espaço Atlântico do Fundo Europeu para o Desenvolvimento Regional, tendo uma dotação orçamental de 2,2 M€ e uma vigência temporal até 2022.
O MARETEC/IST é parceiro do DiadES, estando envolvido na valorização económica dos serviços de ecossistema providenciados pelos peixes diádromos. Lidera, em colaboração com o INRAE, o desenvolvimento de ferramentas de consciencialização da importância dos peixes diádromos e das recomendações de política para uma gestão de longo prazo e a larga escala.

saiba mais

## CAPTURE

Shuttle drone para lançamento e captura em cenários cooperativos e não cooperativos

Centro de investigação: ISR – Instituto de Sistemas e Robótica

Datas: 03/2021 até 03/2024

Este projecto visa abordar vários desafios científicos e tecnológicos para a utilização de lançadores de vaivéns para efectuar manobras de lançamento e captura de outros veículos ou objectos. Um primeiro cenário é considerado onde as naves lançadoras cooperam com os veículos a serem lançados ou capturados, quer transmitindo informação sobre o seu movimento planeado ou sincronizando activamente o seu movimento para facilitar a manobra. Abordar este cenário permite a concepção de veículos especializados para uma determinada tarefa, por exemplo, tendo zangões de asa fixa com longa resistência, ao mesmo tempo que permite a descolagem e aterragem vertical destes veículos com zangões de vaivém. Um segundo cenário envolve o lançamento e a captura de objectos ou outros drones, que podem não cooperar com os lançadores de vaivéns, quer passivos quer activos. Neste caso, as lançadeiras podem actuar como medida de segurança para remover drones ou objectos de áreas restritas que possam evitar activamente ser capturados.
A abordagem destes cenários levanta desafios científicos e tecnológicos interessantes, incluindo: planeamento óptimo e cooperativo de trajectórias para uma equipa de veículos heterogéneos; controlo cooperativo, híbrido e distribuído para manobras críticas de rendezvous; estimativa cooperativa e distribuída do movimento das naves lançadoras, outros veículos, e o ambiente circundante; bem como lidar com estratégias de estimativa, controlo e planeamento baseadas em jogos diferenciais para o cenário não cooperativo.

saiba mais

## Eye in the Sky

Uso de balões de alta altitude no apoio à decisão em operações de incêndio florestal.

Centro de Investigação: idMEC – Instituto de Engenharia Mecânica

Datas: 01/2020 até 12/2022

O projeto Eye in the Sky visa a conceção e desenvolvimento de uma plataforma aérea para apoiar as operações de incêndio florestal. O sistema reforça a rede de comunicação de emergência, enquanto fornece imagens georreferenciadas em tempo real de altas altitudes, permitindo a monitorização do perímetro de incêndio e a deteção de hotspots na área queimada. Esta informação com alta resolução espacial e temporal melhora a consciência situacional, para apoiar operações de combate a incêndios e a definição de táticas e estratégias.
A plataforma será composta por um Balão de Alta Altitude (High-Altitude Balloon - HAB) responsável pelo aumento de altitude da carga útil de observação e comunicação para coletar e transmitir imagens e para retransmitir comunicações. O HAB também irá transportar um veículo aéreo não tripulado (Unmanned Aerial Vehicle - UAV) - tipo asa voadora (planador) - que será lançado de uma altitude elevada. Assim, quando o HAB se afasta da região de interesse, o UAV é libertado, levando as cargas úteis para a posição indicada remotamente.

saiba mais

## EURAD

Programa Europeu Conjunto de Gestão de Resíduos Radioativos

Centro de Investigação: C2TN – Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares

Datas: 06/2019 até 05/2024

O Programa Conjunto Europeu de Gestão de Resíduos Radioativos (EURAD) é um projeto para ajudar os estados membros da UE a implementar a Diretiva 2011/70/Euratom (Diretiva de Resíduos), trabalhando com os seus programas nacionais. Irá também coordenar a ação em metas conjuntas entre todas as organizações envolvidas a nível europeu, seja na investigação ou no apoio técnico. Com base no projeto JOPRAD da CE, o projeto EURAD ajudará os Estados membros a obter o know-how necessário para implementar uma gestão segura e de longo prazo de resíduos radioativos. A EURAD também fornecerá conhecimento de gestão para operar instalações de descarte e ajudará a transferir esse conhecimento entre países e organizações.

saiba mais

## 3SqAir

Estratégia sustentável inteligente para a garantia da qualidade do ar nas salas de aula.

Centro de Investigação: C2TN – Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares

Datas: 11/2020 até 04/2023

O projeto 3SqAir pretende definir um plano de ação para uma especialização inteligente que garanta a Qualidade do Ar Interior (QAI) nas salas de aula da região SUDOE. A QAI afeta a saúde pública e, recentemente, a sua importância foi medida com a pandemia de Covid-19. Reunir uma discussão com várias partes interessadas é parte da responsabilidade social de um critério interno baseado em saúde.

O principal objetivo do projeto é desenvolver uma estratégia que garanta a QAI em edifícios educacionais, implementando soluções inovadoras, sustentáveis e inteligentes: instalação de equipamentos de avaliação da QAI, tecnologias de baixo carbono e ações que promovam as alterações do comportamento. A estratégia não se foca apenas em aspetos técnicos, inclui também fatores sociais, como o comportamento e o desempenho intelectual. Ambas as abordagens são essenciais para alcançar um aumento da QAI, eficiência energética, saúde e bem-estar, abordando desafios transnacionais e transversais. A cooperação transnacional é necessária para avaliar o impacto dos aspetos culturais, técnicos e legais do espaço SUDOE na implantação dos planos de melhoria da QAI.

O projeto 3SqAir estabelecerá uma estratégia RIS3 para a garantia da QAI nas salas de aula, mas conduzirá também a outros produtos, tais como uma estrutura metodológica, campanhas de consciencialização, uma plataforma on-line de boas práticas e uma plataforma IoT de acesso aberto. O projeto será desenvolvido em instituições piloto que abrangem diferentes níveis educacionais, onde será implementada uma metodologia inovadora de Sistemas de Gestão da Energia, que permitirá a seleção e integração de soluções de melhoria da QAI. O envolvimento de uma comunidade de especialistas permitirá a transferência da tecnologia para as diversas partes interessadas. O aspeto inovador do projeto é a solução de IoT proposta, que permitirá uma reprodução mais fácil e económica bem como atualizações contínuas, em contraste com softwares comerciais. O projeto também inclui métodos inovadores para avaliar o bem-estar individual relacionado com a QAI.

saiba mais

## CAVALI

Cadeia de Valor do Lítio

Centro de Investigação: CERENA – Centro de Recurso Naturais e Ambiente

Datas: 01/2021 até 03/2023

O projeto CAVALI visa desenvolver a cadeia de valor do ciclo de produção de baterias à base de lítio para veículos elétricos, aumentando assim a maximização do valor acrescentado resultante da exploração dos recursos nacionais deste metal. Portugal é atualmente o país com maiores reservas comprovadas de Li no continente europeu. Para atingir este objetivo, o projeto centra-se nas fases do ciclo de produção mais suscetíveis de serem instaladas em Portugal, apesar da universalidade e originalidade dos temas de investigação, entre os quais:

- No campo da análise química, o projeto propõe melhorar o analisador de lítio por espetroscopia de plasma induzida por laser (LIBS), atualmente existente no mercado, proporcionando uma nova funcionalidade inteiramente inovadora: a discriminação do lítio do espodumeno relativamente ao de outros minerais, que é um fator extremamente relevante para a exploração de depósitos com múltiplos minerais;
- Desenvolvimento de materiais de referência para a lepidolite (atualmente só estão comercialmente disponíveis materiais de referência do espodumeno). Este objetivo é extremamente relevante, uma vez que a maioria das reservas de lítio a nível europeu são deste mineral.
- Desenvolvimento e otimização de fluxogramas de processamento de minerais de espodumeno e lepidolite, incluindo ações de demonstração à escala piloto.
- Serão desenvolvidos programas informáticos que permitirão o dimensionamento preliminar do equipamento para as instalações de processamento do espodumeno e lepidolite, com base nas folhas de fluxo desenvolvidas.
- No campo das baterias, será desenvolvida investigação básica que permita construir uma nova arquitetura de baterias, FEB: "baterias ferroelétricas-eletrolitas", em que a difusão de iões é reduzida a pequenos deslocamentos e a comunicação iónica entre os eletrólitos é feita através das cadeias de dipolos, sob a ação do campo elétrico no interior da célula da bateria.
- Finalmente, será desenvolvida uma Avaliação do Ciclo de Vida que contemplará as seguintes fases do ciclo de produção: exploração, extração, processamento de minério, metalurgia e produção de baterias de lítio. Será baseado nos processos resultantes do projeto e permitirá inferir os impactos resultantes destas atividades industriais, numa base científica fundamentada.

saiba mais

# Editorial

## Direção Editorial

Jéssica Caupers
Madalena Caldas

## Editores

Madalena Caldas
Margarida Vieira
Irina Lopes
Vicente Curado
João Neves

## Design e Composição

Jéssica Caupers

Revista Técnica
504ª Edição

© AEIST 2021

Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico
Av. Rovisco Pais, nº 1
1049-001 Lisboa